

WIADOMOŚCI TECHNICZNO-ARTYLERYJSKIE

Nr. 12.

SPRAWOZDANIA Z PRAC BADAWCZYCH SEKCJI UZBROJENIA I SEKCJI BRONI CHEMICZNEJ POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ.

ZESZYT I.

Konto czekowe w Pocztowej Kasie Oszczędności Nr. 5454.

WARSZAWA — 1932.

ADRES REDAKCJI I ADMINISTRACJI:
Warszawa, Nowowiejska 1, pokój 406. Telefon 823-94.

CENA ZŁ. 2.50





WIADOMOŚCI TECHNICZNO-ARTYLERYJSKIE

Nr. 12.

ZESZYT I — 1932 r.

TREŚĆ:

SOMMAIRE:



UWAGA: Liczby, umieszczone nad tytułami poszczególnych artykułów w tekście, oznaczają symbole klasyfikacji dziesiętnej.

1110. Druk. Gospodarcza. Warszawa. Wspólna 54. tel. 8-84-12.

SPIS RZECZY.

623.472.3

Prof. inż. PŁUŻAŃSKI ST.
i inż. BERGER R.

ZACHOWANIE SIĘ MATERJAŁU PRZY PROCESACH CIEPLNYCH PODCZAS WYROBU POCISKÓW DZIAŁOWYCH.

I. WSTĘP.

Celem niniejszej pracy było ustalenie zachowania się materjału przy wyrobie skorup stalowych na pociski działowe podczas tych procesów, które odbywają się przy podniesionej temperaturze materjału. W urządzeniu, w którem próby były wykonane, do takich procesów należą:

1) wyrób prostych kielichów z klocków stali, drogą wytłaczania i przeciągania;
2) nadawanie kielichom kształtu owalnego drogą t. zw. zwężania i
3) termiczna obróbka skorup.

Badania nad zachowaniem się materjału zostały ograniczone do tych trzech procesów. Całą pracę wykonano w czasie bieżącej normalnej pracy wytwórni, przy użyciu zwykłego materjału i zwykłych fabrycznych narzędzi pracy i pomiarowych, dlatego też wyniki jej przedstawiają przeciętne dane rzeczywistego zachowania się materjału przy wyrobie kielichów dla dość starego typu pocisków dział polowych kal. 75 mm, — ze względu jednak na podobieństwa metod wyrobu, wyniki te będą mogły w znacznej mierze być rozszerzone i na inne, bardziej nowoczesne typy pocisków.

Ze względów natury praktycznej ilość doświadczeń wykonanych musiała być ograniczoną, dlatego też, o ile charakter opisanych zjawisk wydaje się być ustalonym z dostateczną dla praktyki dokładnością, o tyle ustalenie zakresu omawianych zjawisk będzie wymagało dalszych doświadczeń. Powyższe względy oraz ograniczony czas dla wykonania pracy, w ramach zadania dyplomowego, nie pozwoliły dostatecznie pogłębić tematu. Praca niniejsza zatem może być uważana jedynie jako zapoczątkowanie studjum doświadczalnego procesów cieplnych podczas wyrobu skorup dla pocisków działowych. Praca ta będzie dalej prowadzona w miarę możności.

Za umożliwienie wykonania doświadczeń dla niniejszej pracy, składamy podziękowanie Dyrekcji Głównej P. W. U. oraz Dyrekcji Fabr. Am. w Skarżysku.

II. WYRÓB SKORUP.

Do wyrobu skorup na pociski działowe stosuje się stal martenowską, t. zw. „pół-twardą" (demi-dur) o przeciętnym składzie:

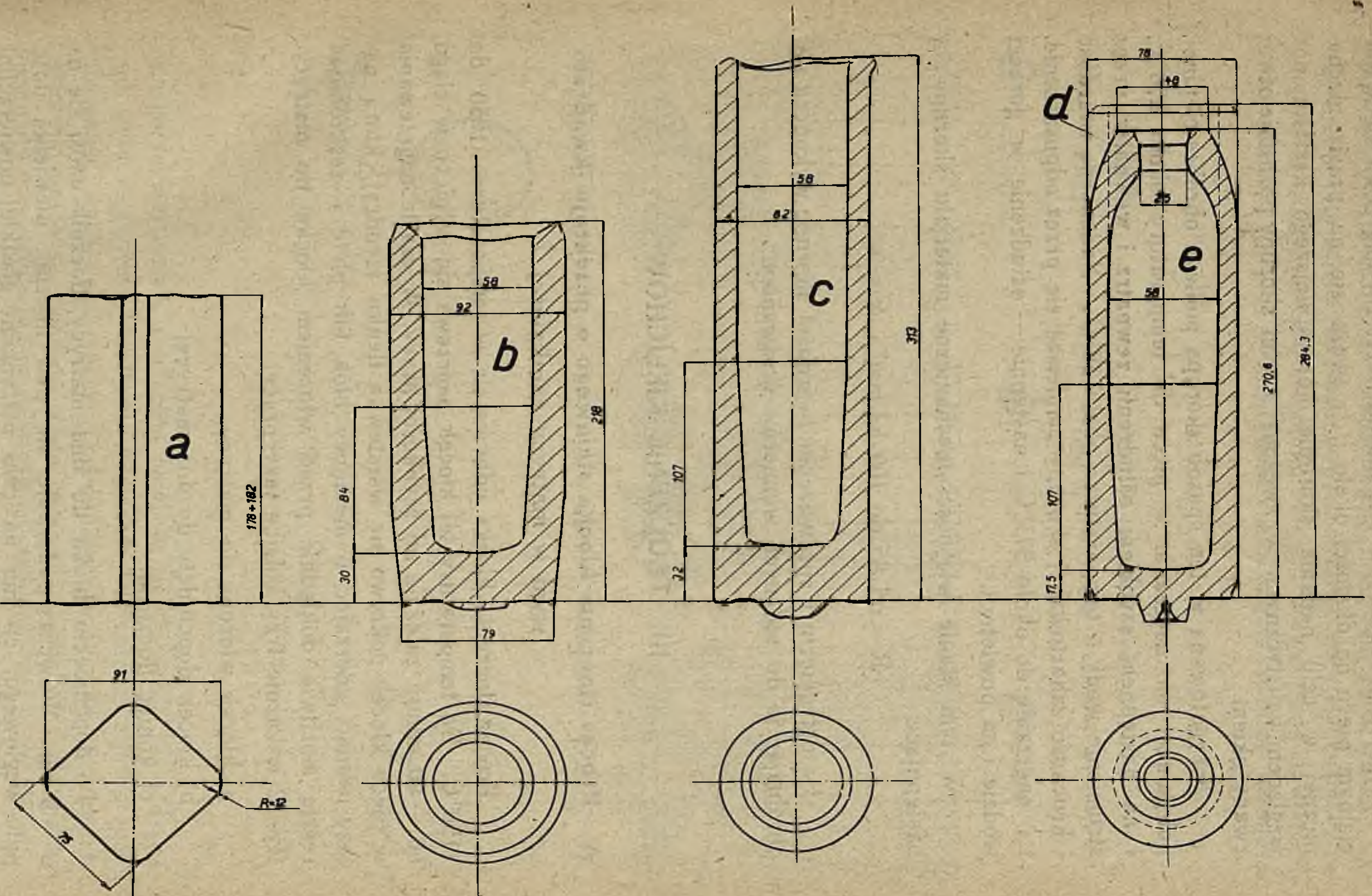
C od 0,35 do 0,45 %
Mn „ 0,55 „ 0,70 „
Si „ 0,15 „ 0,30 „
i po 0,05 % S i P.

Własności mechaniczne tej stali są:

$$R = \text{od } 55 \text{ do } 65 \text{ kg/mm}^2 \text{ i } A = 18\,\%.$$

Stal wywalcowana w t. zw. „rygle", długości około 5 do 7 m, tnie się lub łamie na klocki ciężaru około 7,4 kg o wymiarach wskazanych na rys. 1; z klocka *a* nagrzanego w piecu do temperatury około 1100° C wytłacza się na prasie kielich (*b*). Praca tłoczenia odbywa się o tyle szybko, że w związku z podniesieniem temperatury klocka, następującem podczas tłoczenia, — wskutek tarcia wewnętrznego cząstek materjału, oraz tarcia o tłocznik i matrycę, — temperatura wytłoczonego kielicha wynosi około 1000° C, dzięki czemu dalsza praca, t. j. przeciąganie kielicha może się odbyć bez powtórnego nagrzania.

Przeciągnięty kielich (*c*) podlega zzewnątrz mechanicznej obróbce skrawaniem (wewnętrznej powierzchni zasadniczo się nie obrabia, za wyjątkiem zaczyszczenia denka w celu usunięcia warstewki materjału zmęczonego przez tłoczenie i ew. wtłoczonych drobnych zanieczyszczeń zewnętrznych).



a
178÷182
91
R=12
75
b
58
92
84
30
218
79
c
58
82
107
32
313
d
e
78
48
25
58
107
17,5
270,6
284,3

Rys. 1.

Kielich obrobiony w ten sposób (Rys. 1*d*) nagrzewa się w specjalnym piecu na długości około $^1/_3$ i zwęża się na prasie mechanicznej w celu nadania skorupie korzystniejszego kształtu pod względem balistycznym. W zwężonej części skorupy pozostaje otwór zwany okiem.

Przygotowana w ten sposób skorupa podlega obróbce cieplnej, polegającej na nagrzaniu w piecu do temperatury około 850° C, i na następnem szybkiem ostudzeniu zewnątrz i wewnątrz przez strumienie wody o temperaturze około 28° C. Nadmierną twardość i kruchość zahartowanej skorupy zmniejsza się przez odpuszczenie, t. j. nagrzanie do około 575° C i następnie — ostudzenie w gorącej wodzie i na powietrzu.

W tym stanie własności mechaniczne materjału skorupy są następujące:

$$R = \text{od } 85 \text{ do } 109 \text{ kg/mm}^2 \text{ i } A = 9\,\%.$$

Po ostygnięciu i sprawdzeniu twardości skorupę wykończa się, obrabiając ją do żądanych wymiarów skrawaniem.

III. TŁOCZENIE KIELICHÓW.

A. Proces tłoczenia klocka stalowego o przekroju kwadratowym w matrycy zamkniętej.

Proces tłoczenia klocka odbywa się w temperaturze 1050° do 1150° C. Do temperatury tej klocek nagrzewa się w piecu w ciągu 60 — 90 minut, zależnie od szybkości pracy. W czasie nagrzewania w piecu klocek pokrywa się warstewką tlenku (zendry), którą należy usunąć, uderzając o metalowy blok lub płytę i zeskrobując resztę możliwie dokładnie przed włożeniem klocka do matrycy. Rys. 2 wskazuje trzy kolejne fazy pracy:

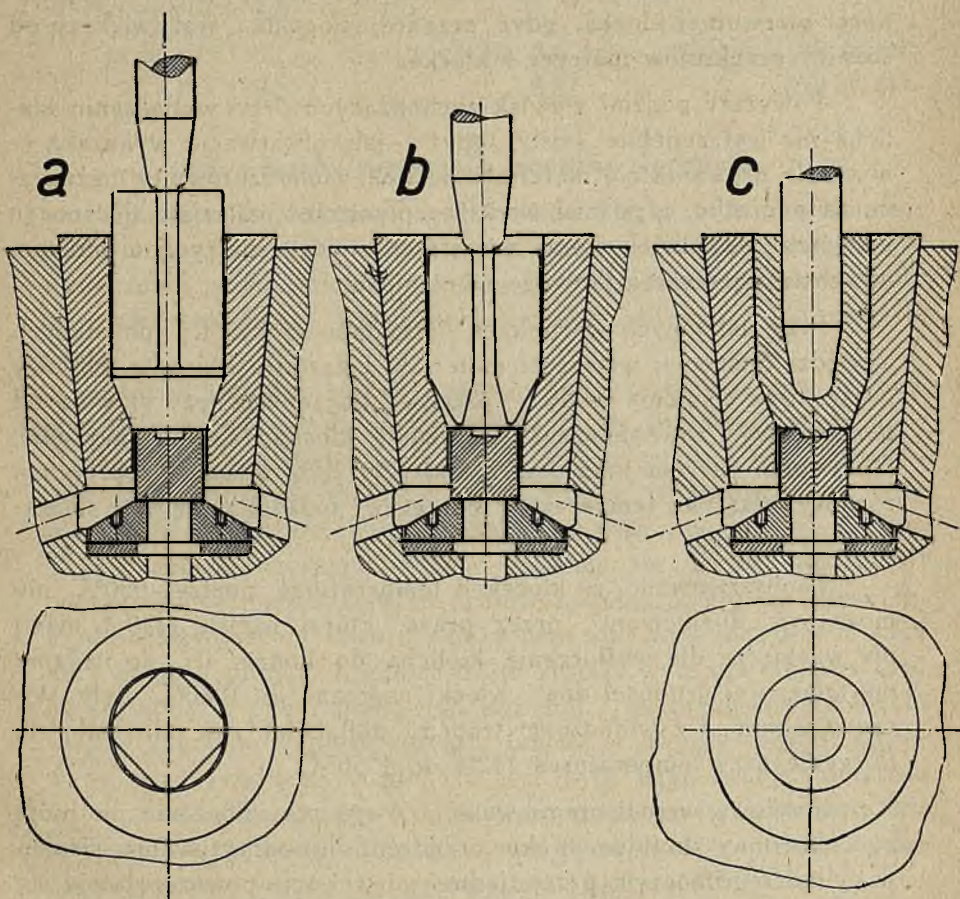
a) klocek włożony do matrycy;

b) klocek dopchnięty do dna matrycy;

c) koniec tłoczenia.

Po dopchnięciu bloka do dna matrycy, tłocznik unosi się na 3 — 5 cm. Wówczas podsypuje się pod tłocznik niewielką ilość pyłu węglowego, co ma na celu otrzymanie gładkiej powierzchni

wewnętrznej kielicha oraz konserwację tłocznika, gdyż spalony węgiel wytwarza między trącemi powierzchniami warstewkę izolacyjną, zmniejszającą w znacznym stopniu tarcie. Wewnętrzną powierzchnię matrycy, również w celu zmniejszenia tarcia między płynącym



Rys. 2.

ku górze materjałem a ścianką, powleka się smarem. Po podsypaniu pyłu węglowego, następuje właściwe tłoczenie na skutek ruchu tłocznika nadół pod pełnem ciśnieniem wody. Po wytłoczeniu, tłocznik wraca do swego górnego położenia, kielich zaś zostaje wypchnięty z matrycy ku górze przez wypychacz.

Przy tłoczeniu klocka rozróżnia się następujące trzy okresy:

1) spęczanie bloka wzdłuż osi,

2) usuwanie się materjału na boki,

3) przesuwanie się materjału ku górze („płynięcie") tak, że ostatecznie wysokość wytłoczonego kielicha jest większa od wysokości pierwotnej klocka, gdyż przekrój tłocznika jest większy od różnicy przekrojów matrycy i klocka.

Powyższy podział zjawisk zachodzących przy wytłaczaniu kielicha nie jest zupełnie ścisły, gdyż — jak obserwacje wykazały, — w czasie usuwania się materjału na boki zachodzi również nieznaczne na początku, a później większe „płynięcie" materjału tłoczonego ku górze, jakkolwiek wolna przestrzeń między matrycą a blokiem nie została jeszcze całkowicie wypełniona.

Przy ustalonych warunkach normalnej pracy, t. j. dla danych narzędzi tłoczenia, własności materjału i kształtu klocków, budowy prasy, oraz ciśnienia wody, — przebieg tłoczenia zależy głównie od temperatury, równomiernego nagrzania klocka i stanu narzędzi, t. j. stopnia zużycia tłocznika i matrycy; dość znaczny wpływ ma również właściwa temperatura narzędzi, podsypka węgla i smarowanie matrycy.

Zaobserwowano, że klocek o temperaturze poniżej 950° C nie może być „dognieciony" przez prasę, której nacisk (130 t. max.) nie wystarcza dla wytłoczenia kielicha do końca, t. j. do nadania mu właściwej grubości dna. Klocki nagrzane do 1080° C były tłoczone wolniej i z widocznym trudem, najłatwiej zaś odbywało się tłoczenie przy temperaturze 1120° do 1150° C.

Ilościowy wzrost oporu wewnętrznego przy tłoczeniu nie mógł być określony skutkiem braku urządzeń dla odczytywania ciśnień w cylindrze roboczym prasy, jednak obserwacje powyższe stają się zrozumiałe, o ile się zważy, że opór wewnętrzny tłoczenia stali wzrasta bardzo silnie ze spadkiem temperatury i przy około 900° C jest już dwa razy większy, niż przy 1200°.

Wielkość bezwzględna oporu tłoczenia wynosi w zwykłych warunkach około 20 kg/mm^2.

Zużyte matryca i tłocznik zwiększają opór tłoczenia dość znacznie, tak, że przy niedość obfitej podsypce węgla i zużytych narzędziach obserwowano niedotłoczenia kielichów przy temperaturach 1050° do 1070° C.

Podobnież, gdy nawet świeże, niezużyte narzędzia mają za niską temperaturę (początek pracy z nierozgrzanemi narzędziami), temperatura klocka spadała do 900°— 950° C, przy której wytłoczenie normalnego kielicha stawało się niemożliwem.

Zaobserwowana szybkość tłoczenia przy skoku tłocznika $\cong$ $\cong$ 150 mm wynosiła:

przy t = 1150° C; czas tłoczenia 0,6 sek.; szybkość 0,25 m/sek.
„ t = 1080° „ „ „ 0,8 „ „ 0,19 m/sek.

B. Ruchy materjału podczas tłoczenia.

Zjawiska, zachodzące przy tłoczeniu klocka w zamkniętej matrycy można wyjaśnić najdogodniej drogą prób, polegających na wytłoczeniu pewnej ilości kielichów odpowiednio przygotowanych, lecz wykonanych w warunkach możliwie zbliżonych do zwykłej pracy.

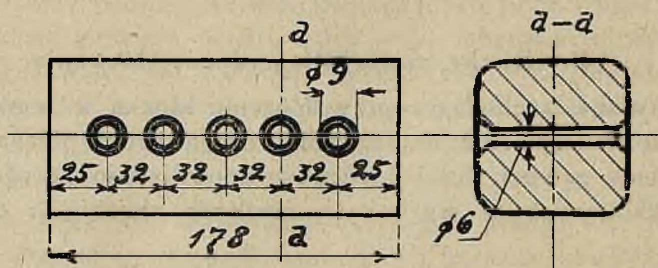
Ażeby uzyskać obraz wzajemnego przesunięcia się cząstek materjału w procesie tłoczenia, uciekamy się do następującego sposobu: klocek stali przewierca się w kilku, np. w 5-ciu miejscach (rys. 3) na wiertarce tak, aby osie otworów przewierconych były równoległe do boków klocka. Średnica otworów wynosi 6 mm. W ten sposób uzyskane otwory wypełnia się drutem żelaznym*) poczem końce poszczególnych drutów zostają roznitowane (rys. 4). Przed włożeniem do otworu należy drut starannie oczyścić z rdzy przy pomocy pilnika. Średnica drutu została wybrana tak, aby drut lekko wbity w otwór dobrze go wypełnił. Tak przygotowane klocki zostały zagrzane w piecu razem z innemi w zwykły sposób, stosowany przy produkcji ciągłej, to jest były nagrzewane stopniowo w przeciwprądzie gorących spalin do coraz wyższej temperatury w miarę zbliżania się bloka do trzonu pieca, w którym klocek osiągał ostatecznie wymaganą temperaturę 1100° do 1150° C.

Czas nagrzewania klocków wynosił 80 minut, z tego przebywały one w strefie najgorętszej, t. j. w trzonie pieca około 18 minut. Po nagrzaniu i wytłoczeniu kielichów z przygotowanych klocków i po następnem ostygnięciu ich, przekrajano je w płaszczyźnie

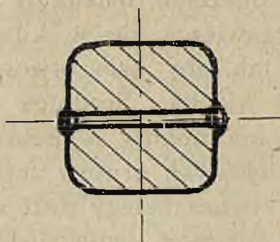
---

*) Wypełnianie drutem żelaznym otworów, stosowane w niniejszej pracy, daje lepsze wyniki, niż pozostawianie pustych otworów, stosowane zwykle (por. L. Guillet „Recherches sur la fabrication des obus" i Fr. J. Hofmann „Die Hydraulischen Schmiedepressen"), gdyż otwór wypełniony nie zniekształca się podczas tłoczenia tak łatwo, jak otwór pusty, którego ścianki w dodatku, zbliżone przez bardzo znaczne wydłużenie, łączą się ze sobą, uniemożliwiając śledzenie linji wydłużenia.

przechodzącej przez oś kielicha i osie drutów. Przekrój wygładzono pilnikiem oraz papierem szmerglowym i wytrawiono roztworem jodu w jodku potasu. Obraz wytrawionego przekroju wskazuje rys. 10, szkic zaś kreskowy — rys. 16. Na przekroju (rys. 10) widoczne są druty w postaci jasnych pasm na ciemniejszem tle stali pociskowej; druty biegną najpierw poziomo — przy ściance zewnętrznej kielicha, poczem w pewnej odległości zmieniają kierunek i układają się stycznie do tłocznika. Drut najbliższy w dnie kieli-



Rys. 3.



Rys. 4.

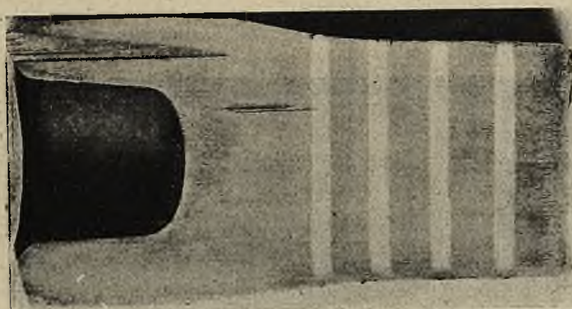
cha został wygięty nieco wdół, następny zaś przebiega jako cienkie pasemko wpobliżu wewnętrznej powierzchni, rozszerzając się przy ściance zewnętrznej. Ślad trzech górnych drutów, biegnących stycznie do powierzchni wewnętrznej komory, zanika na ciemnem tle stali, nie dochodząc do dna kielicha. Z układu i z przesunięcia się drutów względem siebie można wyciągnąć wnioski dotyczące przesunięć, a zatem i przerobienia materjału przy tłoczeniu w zamkniętej matrycy. Dla tych badań wytłoczono sześć kielichów, różniących się stopniem zagłębienia tłocznika. Klocki, jak poprzednio, były wiercone w określonych od siebie odległościach, a otwory wypełnione były drutem żelaznym. Wytrawione przekroje tych skorup podają fotografje rys. 5 do 10 i rys. kreskowe 11 do 16, na których również zaznaczone są kontury bloków, oznaczone literami *m n o p*, z których kielichy te zostały wytłoczone.

60 mm



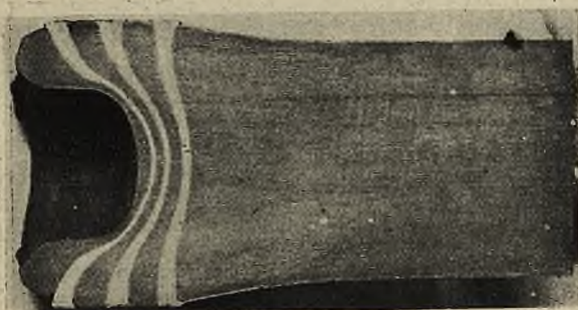
Rys. 7.

59 mm



Rys. 6.

58 mm



Rys. 5.

63 mm



Rys. 8.

68 mm

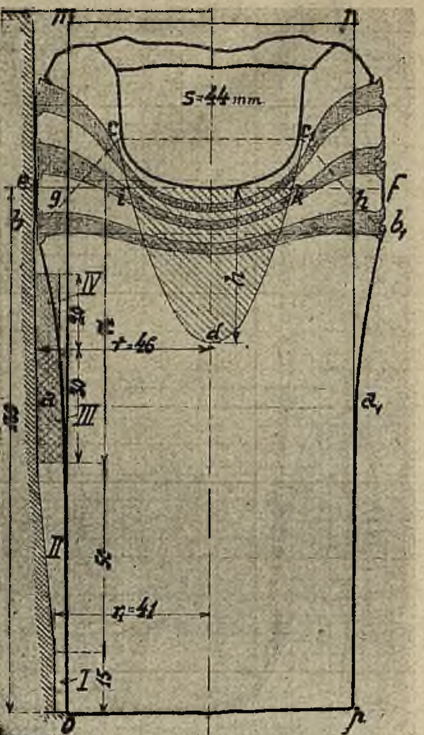


Rys. 9.

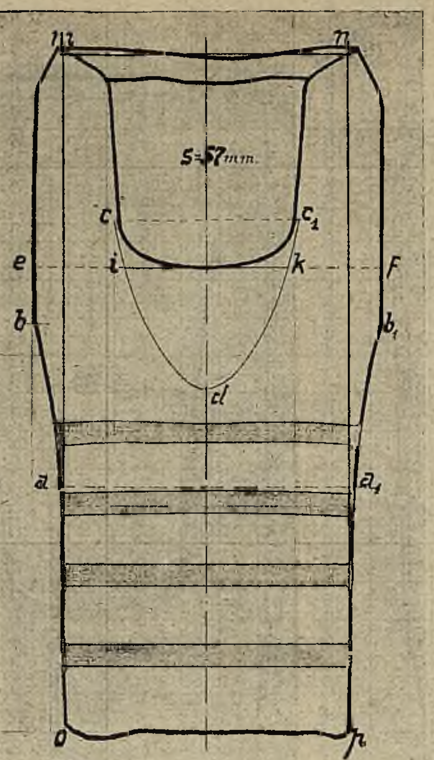
73 mm



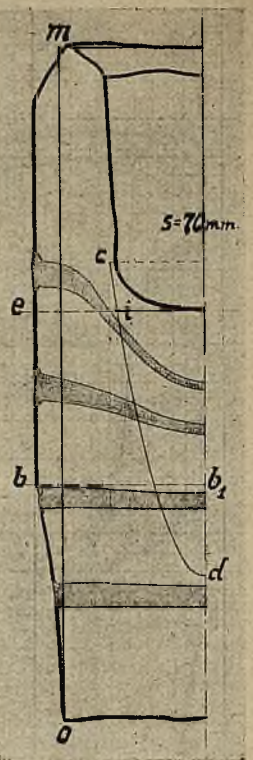
Rys. 10.



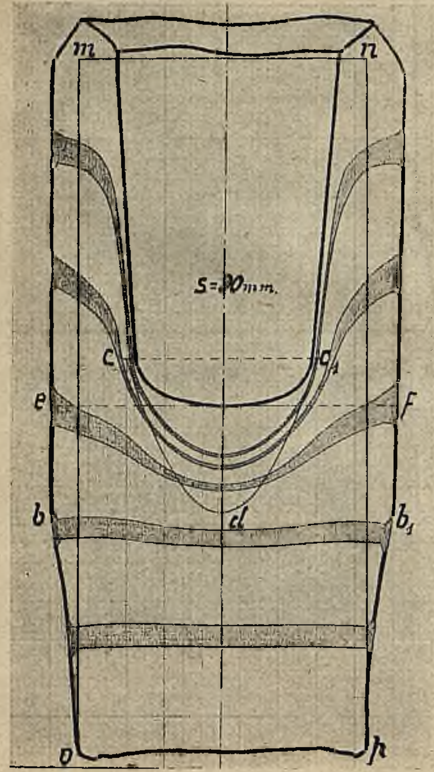
Rys. 11.



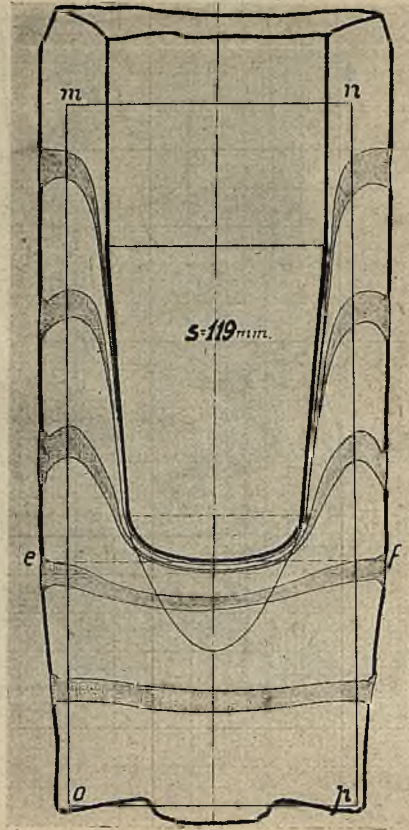
Rys. 12.



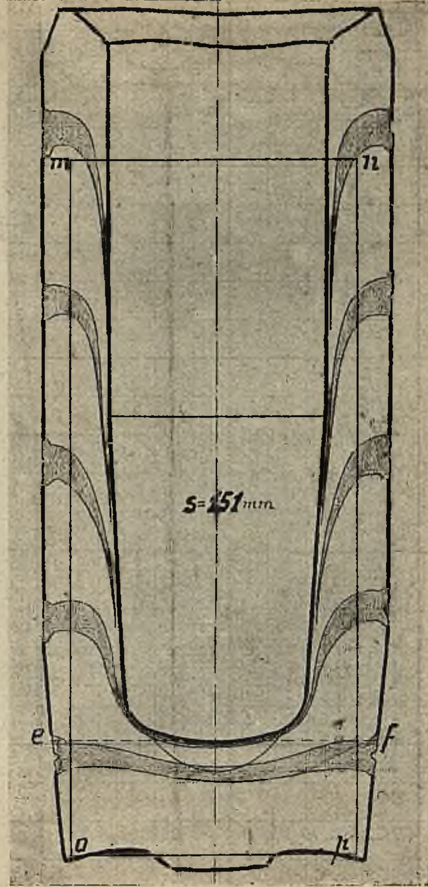
Rys. 13.



Rys. 14.



Rys. 15.



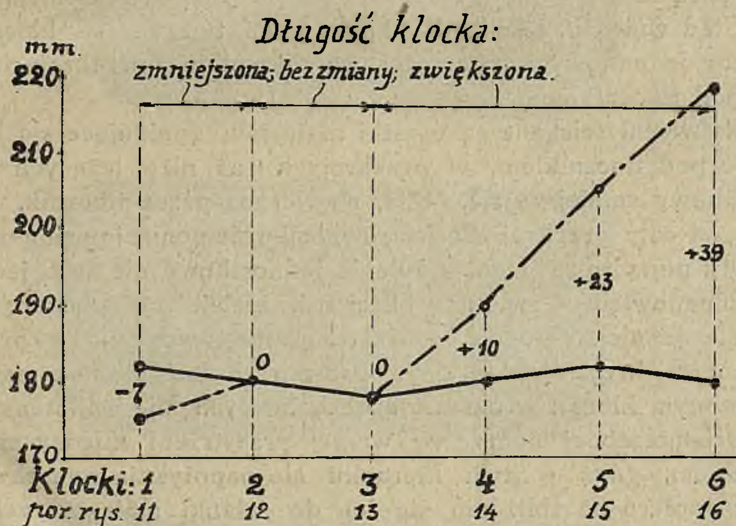
Rys. 16.

Tablica 1 zawiera wysokości klocków i wytłoczonych z nich kielichów, przy różnych zagłębieniach tłocznika.

Tablica 1.

Klocek	1	2	3	4	5	6	
Wysokość klocka . . .	182	180	178	180	182	180	mm
Zagłębienie tłocznika s=	44	57	70	90	119	151	mm
Wysokość kielicha . . .	175	180	178	190	205	219	mm
Zmiana długości. . . .	— 7	0	0	+10	+23	+39	mm
Przedstawiają rys. . .	5 i 11	6 i 12	7 i 13	8 i 14	9 i 15	10 i 16	

Na rys. 17 wskazane są zmiany długości kielicha w porównaniu z właściwym klockiem.



Rys. 17.

Z rys. 17 i tablicy 1 widać, że na początku tłoczenia blok „osiada", to znaczy spęcza się pod wpływem wywieranego na jego czołową powierzchnię nacisku tłocznika. Spęczanie zaczyna się od góry (rys. 5) i postępuje wdół w miarę pogrążania się tłocznika w klocku. Spęczanie, powodujące równocześnie zmniejszanie się

wysokości klocka na początku tłoczenia (por. rys. 17) polega na wybrzuszeniu się najpierw górnej części bloka. Zwiększaniu się przekroju tłoczonego klocka pod działaniem tłocznika kładzie kres opór wewnętrznej ścianki matrycy.

Jak widać z rys. 5 do 8 i 11 do 14, wskazujących kielich niezupełnie wytłoczony, spęczanie następuje w górnej jego części do poziomu b — b_1, poniżej którego spęczanie jest zapoczątkowane lecz nie ukończone. Początek spęczania zaznacza się już na poziomie a — a_1, poniżej którego przekrój klocka nie uległ zmianie. Przejście od przekroju kołowego b — b_1 do przekroju klocka poniżej poziomu a — a_1, stanowi krzywa b — a, bliżej nieznana, o charakterze hiperboli.

Widok na boczną powierzchnię tego klocka wskazują fotografje rys. 18a, b, c i 19.

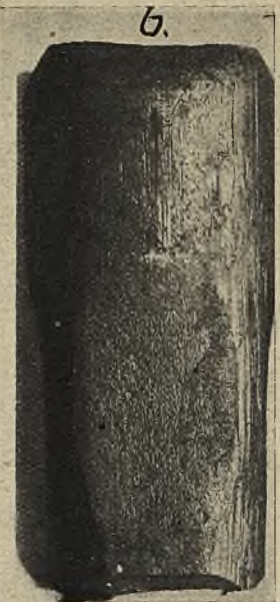
Druty na rys. 11 układają się pod tłocznikiem tak, że im niżej leżą i im bardziej są oddalone od czołowej powierzchni tłocznika, tem są mniej wygięte i zbliżają się do pozycji poziomej (rys. 12 i 6). Stąd wniosek, iż siła działająca przez tłocznik na klocek nie wywiera jednakowych nacisków we wszystkich przekrojach leżących pod tłocznikiem.

Najwięcej ściskane są cząstki materjału znajdujące się bezpośrednio pod tłocznikiem, w przekrojach zaś niżej leżących nacisk jednostkowy zmniejsza się. Siła, wywierana przez tłocznik, rozkłada się na cały przekrój klocka równomiernie poniżej poziomu a—a_1 (rys. 11), powyżej zaś tegoż ciśnienie jednostkowe nie jest jednakowe, a mianowicie — większe bliżej osi, maleje zaś w miarę oddalania się od niej. Wogóle naciski tłocznika występują w przekrojach poniżej krzywej bc — c_1b_1. Przemieszczanie cząstek materjału w tłoczonym klocku w okresie spęczania występuje najintensywniej w części położonej naprzeciw wolnej przestrzeni między matrycą a klockiem, gdyż w tym kierunku nie napotykają one chwilowo oporu; dopiero po zbliżeniu się ich do ścianki matrycy ruch promieniowy tych cząstek ustaje. Cząstki, biorące udział w procesie spęczania klocka, przesuwają się w kierunku strzałek p. rys. 20.

Kielich przedstawiony na rys. 11 jest krótszy od pierwotnej wysokości klocka o 7 mm. Objętość materjału równa F $\times$ 7 mm^3, gdzie F oznacza przekrój klocka, — poszła na wypełnienie wolnej przestrzeni na czterech bokach.

Rys. 6 i 12 wskazują kielich również niezupełnie wytłoczony, dla którego skok roboczy tłocznika wynosił 57 mm. Wysokość





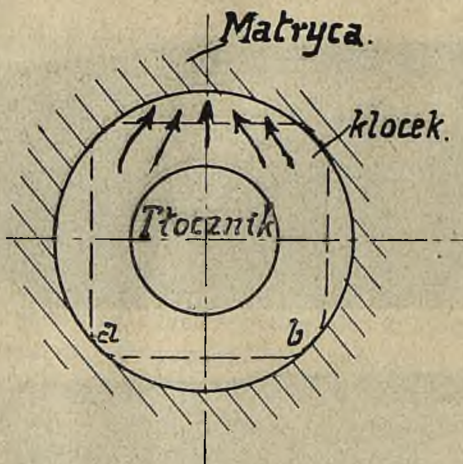


Rys. 18.
Zewnętrzny widok klocka w różnych stadjach wypełnienia matrycy (a — odpowiada rys. 5 i 11, b — rys. 6 i 12, c — rys. 7 i 13).



Rys. 19.
Widok krawędzi klocka rys. 18-a.

kielicha jest równa pierwotnej wysokości klocka. Widzimy zatem, że zmniejszanie się wysokości kielicha równocześnie ze spęczaniem bloka zachodzi tylko do pewnej granicy, poczem wysokość kielicha zaczyna wzrastać. Wartość skoku roboczego s, dla którego blok spęczany osiąga minimalną wysokość, zawiera się w danym wypadku najprawdopodobniej w granicach: $40 < s < 45$ mm. Zatem już we wczesnych stadjach tłoczenia zaznacza się dość wyraźny przyrost wysokości, wskutek jednoczesnego płynięcia materjału ku górze, obok ruchu tychże cząstek w kierunku promieniowym. Niezupełnie ścisłym jest więc zwykły podział procesu tłoczenia na trzy



Rys. 20.

okresy, z których drugi jest charakteryzowany ruchem cząstek materjału wyłącznie w kierunku promieniowym. W pierwszym okresie tłoczenia, gdy wysokość na skutek spęczania bloku maleje, — cząstki ku górze nie płyną.

Druty, rozmieszczone w dolnej części klocka rys. 12, bliżej dna, nie doznały żadnych odkształceń, natomiast dwa górne, leżące w strefie początku spęczania się tej części są nieznacznie zniekształcone. Działanie tłocznika jest podobne do działania klina o tępem zakończeniu, wbijanego w materjał plastyczny. Początkowo drut zostaje wygięty ku górze, później wskutek zwiększania się sił pionowych w miarę pogrążania się tłocznika w klocek, wygięcie pośrodku zmienia swój kierunek, — por. pierwszy drut od góry rys. 12.

Dalsze fazy procesu tłoczenia widoczne są na fotografjach: rys. 7 do 12, oraz odpowiadających tymże przekrojom szkicach kreskowych rys. 13 do 16. Spęczanie postępuje w dalszym ciągu, lecz w coraz niżej położonych przekrojach. Rys. 13 przedstawia klocek spęczony do poziomu $b — b_1$, począwszy od którego zaczyna się stożek w matrycy. Pomimo, iż skok tłocznika wynosi już 70 mm, — długość wytłoczonego kielicha jest równa pierwotnej długości klocka $m — o$. W porównaniu zatem z poprzednim kielichem wysokość jego nie wzrosła, pomimo iż skok roboczy tłocznika zwiększył się z 57 na 70 mm, gdyż wygnieciony przez tłocznik materjał wypełnił całkowicie matrycę; przy dalszem zagłębianiu się tłocznika, rozpoczyna się wzmożone płynięcie materjału do góry.

Największą dążność do płynięcia ku górze posiadają cząstki materjału, położone mniej więcej w środku grubości ścianki, ponieważ tu materjał zachowuje dłużej wyższą temperaturę, niż w pobliżu powierzchni dotyku kielicha od zewnątrz ze ścianką wewnętrzną matrycy i od wewnątrz z tłocznikiem. Poza tem odgrywa tu poważną rolę wpływ tarcia na powierzchniach dotyku, hamując w znacznym stopniu ruch cząstek leżących wpobliżu tych powierzchni.

Kielich (rys. 13) nie wypełnił jeszcze całkowicie matrycy. To samo powiedzieć można o kielichu rys. 14, jakkolwiek tu skok tłocznika wynosi 90 mm, i absolutny przyrost długości w stosunku do klocka, z którego on powstał, wynosi 10 mm. Rys. 15 podaje dalszy etap procesu tłoczenia. Skok tłocznika $s \cong 120$ mm, $\triangle l = 23$ mm; kielich posiada na całej wysokości przekrój walcowy*), co dowodzi całkowitego wypełnienia wolnej przestrzeni między matrycą a kielichem.

Dno zostało również uformowane. Charakterystyczny kształt przybrał trzeci drut od dołu. Potwierdza on w zupełności twierdzenie, iż materjał najintensywniej płynie w pewnej odległości od ścianki, która to odległość dla danego przekroju jest równa około 8 mm i znajduje się bliżej ścianki zewnętrznej. Kielich całkowicie wytłoczony przedstawia rys. 16.

Intensywność płynięcia w poszczególnych etapach przedstawionych na rys. 11 do 16 można zobrazować jeszcze w sposób następujący: weźmy pod uwagę objętość klocka częściowo spęczonego

*) Właściwie: lekko-stożkowy, odpowiadający pochyleniu linji tworzącej matrycy.

poniżej płaszczyzny stycznej do czołowej powierzchni tłocznika, to jest poniżej poziomu *ef*, rys. 11. Objętość tę oznaczmy przez V, jest ona większa od objętości V_1 klocka tej samej wysokości, lecz o przekroju stałym $= F_0$. Ta nadwyżka objętości wynika wskutek nagromadzenia się materjału na bokach przy spęczaniu klocka.

Nadwyżkę objętości można obliczyć w sposób następujący: przekrój klocka 75×75 mm^2 z rogami, zaokrąglonemi promieniem $r = 12$ mm, jest (rys. 1. a):

$F_0 = \pi \,.\, 12^2 + (75 - 2 \,.\, 12)\, 75 + 2 \,.\, 12\,(75 - 2 \,.\, 12) = 5501$ mm^2, wysokość zaś części klocka $og = 139$ mm, zatem objętość $oghp =$ $= V_1 = 55{,}01 \,.\, 13{,}9 = 765$ cm^3.

Objętość klocka o przekroju $oabefb_1a_1p$ znaleźć można jako różnicę objętości matrycy i wolnej przestrzeni między matrycą i klockiem. Objętość matrycy od podstawy do poziomu położonego na wysokości 139 mm, t. j. do $e - f$, oznaczmy przez V', to

$$V' = v_1 + v_2 + v_3 .$$

Z rys. 11:

$$v_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} \cdot 1{,}5 = \frac{\pi \,.\, 8{,}2^2}{4} \,.\, 1{,}5 = 79{,}2 \text{ cm}^3$$

$$v_2 = \frac{1}{3}\pi \,.\, 5{,}0\,(4{,}6^2 + 4{,}6 \,.\, 4{,}1 + 4{,}1^2) = 290{,}75 \text{ cm}^3$$

$$v_3 = \pi \,.\, 4{,}6^2 \,.\, 7{,}4 \cong 492 \text{ cm}^3$$

Objętość części klocka o wysokości $= 65$ mm i przekroju $F = 5501$ mm^2 jest $v' = 55{,}01 \,.\, 6{,}5 = 336$ cm^3;

Objętość v'' klocka powyżej, t. j. od 65 do 139 mm, znajdziemy jako różnicę objętości matrycy i wolnej przestrzeni między matrycą a klockiem.

Obliczenie (przybliżone) daje (por. rys. 21):

$$Tg \frac{\varphi}{2} = \frac{24}{39} = 0{,}615; \quad \sphericalangle \varphi = 63^0$$

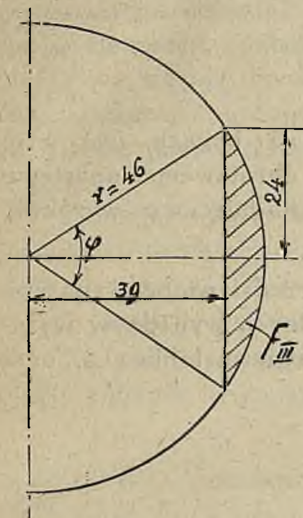
i zakreskowane pole $= f$III;

$$= \frac{1}{2} r^2 \left(\frac{\varphi \,.\, \pi}{180} - \text{Sin } \varphi\right) = \frac{1}{2} \,.\, 4{,}6^2 \left(\frac{63 \,.\, \pi}{180} - 0{,}891\right) = 2{,}20 \text{ cm}^2$$

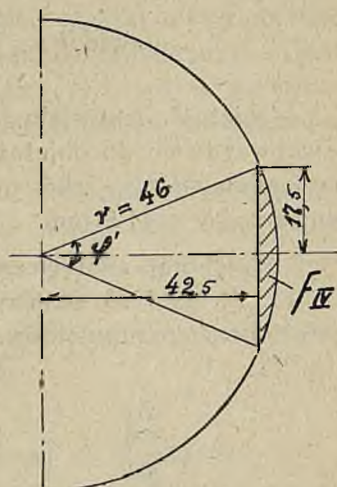
vIII $= 2{,}2 \,.\, 3{,}0 \,.\, 4 = 26{,}2$ cm^3.

Jest to objętość swobodna, oznaczona przez III na rys. 11 w założeniu, że przekrój jej jest na całej wysokości niezmienny.

Pozostałą nieuwzględnioną swobodną przestrzeń zastąpiono przez prostokąt o przekroju (zakreskowanym) IV, którego pole f_{IV} jest (p. rys. 22):



Rys. 21.



Rys. 22.

$$Tg\,\frac{\varphi'}{2} = \frac{17{,}5}{42{,}5} = 0{,}41\,; \qquad \varphi' = 44^0 40'.$$

$$f_{IV} = \frac{1}{2}\,.\,\overline{4{,}6}^2\left(\frac{44{,}6\,.\,\pi}{180} - 0{,}703\right) = 0{,}81\ \text{cm}^2,$$

$$v_{IV} = 0{,}81\,.\,2{,}0\,.\,4 = 6{,}5\ \text{cm}^3.$$

Zatem $v_{III} + v_{IV} = 26{,}2 + 6{,}5 = 32{,}7\ \text{cm}^3$

i $v'' = v_3 - (v_{III} + v_{IV}) = 492{,}0 - 32{,}7 = 459{,}3\ \text{cm}^3$.

Objętość klocka poniżej *ef*, t. j.

$$v = v' + v'' = 336{,}0 + 459{,}3 = 795{,}3\ \text{cm}^3$$

mniej objętość v_1:

$$795{,}3 - 765{,}0 = 30{,}3\ \text{cm}^3$$

daje objętość spęczonego materjału poniżej *ef*.

Powyższa objętość została przeliczona na objętość paraboloidu obrotowego, opartego na średnicy *ik* jako na podstawie

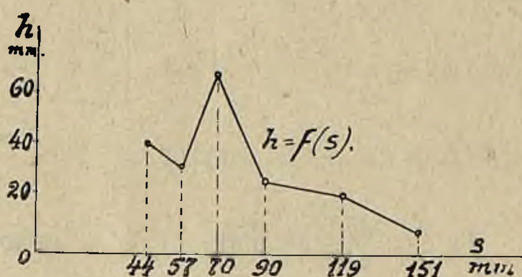
$= 2r' = 43$ mm.

$$v \text{ parabol.} = 30{,}3 = \frac{1}{2} \pi r'^2 . h$$

$$\text{skąd } h = \frac{30{,}3 \ . \ 2}{\pi \ . \ \overline{2{,}15}^2} = 4{,}15 \text{ cm.}$$

Objętość materjału, nagromadzonego na bokach, jest więc równoważna co do objętości paraboloidowi obrotowemu, opartemu na średnicy *ik*, — jako na podstawie i posiadającemu wysokość obliczoną $h = 41{,}5$ mm.

Postępując analogicznie z kielichami, przedstawionemi na rys. 12, 13, 14, 15 i 16, obliczymy dla poszczególnych wypadków wysokości tych paraboloidów. Wartości te zawiera tablica 2, oraz rys. 23.



Rys. 23.

Tablica 2.

Nr. kielicha	1	2	3	4	5	6
Skok roboczy tłocznika . . .	44	57	70	90	119	151
Wysokość parabol. *h* mm . .	41,5	32,5	70,0	27,5	22,0	8,5

Jak widzimy, wysokość paraboloidu zmniejsza się w stosunku odwrotnym do wielkości skoku tłocznika. Wyjątkiem jest kielich 3-ci przedstawiony na rys. 13, dla którego wysokość paraboloidu jest znacznie większa niż dla pozostałych. Wielkość jego charakteryzuje szybkość wypełniania swobodnej przestrzeni bocznej, gdyż

ze wzrostem paraboloidu — wzrasta ilość materjału, którą tłocznik stłoczył w matrycy do danej chwili. Zjawisko zmniejszania się wysokości paraboloidu dowodzi wzrostu intensywności płynięcia materjału ku górze.

Drut, znajdujący się w bliskości dna kielicha, rys. 16 ulega nieznacznemu odkształceniu, gdyż, — chociaż materjał w dnie przy końcu tłoczenia podlega silnemu ściskaniu, cząstki materjału tam znajdujące się nie doznają większych przesunięć wzajemnych, skutkiem większego skrępowania kształtem matrycy, to też w porównaniu z materjałem ścianek przemieszczają się w bardzo nieznacznym stopniu.

Zajmującem jest badanie wzajemnego położenia, oraz odległości między drutami po wytłoczeniu kielicha w stosunku do pierwotnych wymiarów. W tym celu rozpatrzymy klocek oraz wytłoczony z niego kielich, wskazane wraz z wymiarami na rys. 24.

Zmiana poszczególnych wymiarów, które w czasie tłoczenia uległy zmianie, wskazana jest w tablicy 3.

Tablica 3.

$A\ B\ C\ D\ E\ F$ — oznaczają wymiary odnoszące się do klocka;
$A_1\ B_1\ C_1\ D_1\ E_1\ F_1$, A_2 i t. d. — oznaczają wymiary odnoszące się do kielicha z tego klocka wytłoczonego.

A	26	B	32	C	32	D	32	E	32	F	25 mm
A_1	31	B_1	43,5	C_1	40	D_1	40	E_1	37,5	F_1	25,5 „
A_2	33	B_2	43	C_2	40,5	D_2	41	E_2	35	F_2	26,5 „
A_3	32	B_3	44	—	—	D_3	40	E_3	36	F_3	27 „
$A_1 - A$	5	$B_1 - B$	11,5	$C_1 - C$	8	$D_1 - D$	8	$E_1 - E$	5,5	$F_1 - F$	0,5 „
$A_2 - A$	7	$B_2 - B$	11,0	$C_2 - C$	8,5	$D_2 - D$	9	$E_2 - E$	3,0	$F_2 - F$	1,5 „
$A_3 - A$	6	$B_3 - B$	12,0	—	—	$D_3 - D$	8	$E_3 - E$	4	$F_3 - F$	2,0 „
$n_1 = \frac{A_1 - A}{A}$	19,2	$\frac{B_1 - B}{B}$	35,9	$\frac{C_1 - C}{C}$	25	$\frac{D_1 - D}{D}$	25	$\frac{E_1 - E}{E}$	17,1	$\frac{F_1 - F}{F}$	2 %
$n_2 = \frac{A_2 - A}{A}$	26,9	$\frac{B_2 - B}{B}$	34,3	$\frac{C_2 - C}{C}$	26,5	$\frac{D_2 - D}{D}$	28,1	$\frac{E_2 - E}{E}$	9,3	$\frac{F_2 - F}{F}$	6 „
$n_3 - \frac{A_3 - A}{A}$	23	$\frac{B_3 - B}{B}$	37,5	—	—	$\frac{D_3 - D}{D}$	25	$\frac{E_3 - E}{E}$	12,5	$\frac{F_3 - F}{F}$	8 „
n średnie	23		36		26		26		13		5 „

Rys. 24.

Uwaga. Indeks 1 — odnosi się do zewnętrznych pomiarów lewej strony kielicha, indeks 2 — prawej, indeks 3 — do odległości pomiędzy najbardziej przesuniętemi cząstkami wewnątrz ścianki.

Podczas tłoczenia odległości między drutami uległy zmianie na skutek płynięcia materjału ku górze. Po obliczeniu przyrostów tych odległości w procentach i odniesieniu ich w skali na rzędnych między poszczególnemi drutami otrzymamy krzywą *K L* rys. 24, cha-

rakteryzującą intensywność płynięcia materjału na różnych poziomach, zaczynając od dna kielicha. Powyższa krzywa potwierdza już poprzedni wniosek o stopniu przerobienia materjału w miarę zbliżania się do dna kielicha.

Miejsca wyjść drutów na powierzchnię zewnętrzną nie posiadają kształtów pierwotnych okrągłych, lecz eliptyczne, przyczem większa oś elipsy jest równoległa do osi kielicha. Przekrój drutu w miarę posuwania się głębiej w materjał ulega zmianie. Na pewnej odległości od powierzchni zewnętrznej przechodzi przez przekrój kołowy, aby dalej w kierunku wnętrza znów stać się eliptycznym, lecz z większą osią elipsy prostopadłą do osi kielicha. Idąc zaś śladem drutu wdół obserwuje się zmniejszenie jego przekroju; aż wreszcie jako cienkie włókienko, biegnące asymptotycznie do wewnętrznej powierzchni skorupy zanika on na ciemnem, wytrawionem tle stali. Powierzchnia komory we wszystkich wypadkach tłoczenia klocków nawierconych jest gładka, nie wskazując ew. miejscowego przerywania się włókien biegnących równolegle do osi.

Obraz przekrojów dwóch kielichów wytłoczonych, których klocki uprzednio zostały przewiercone *wzdłuż osi*, przyczem jeden wiertłem o średnicy 18 mm, a drugi 6 mm, — wskazują rys. 25 i 26.

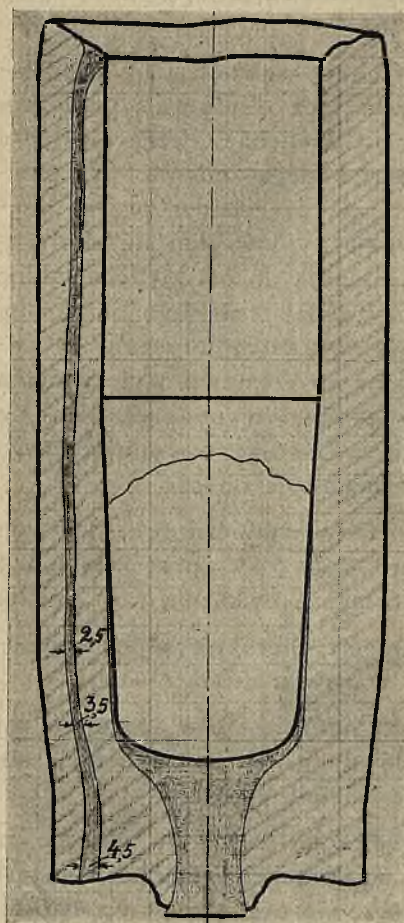
W dnie kielicha rys. 26 obserwujemy charakterystyczne zgniecenie materjału drutu umieszczonego w nawierconym otworze.

Jak widać na rysunku, włókna znajdujące się w kierunku osi bloka zostają całkowicie wtłoczone do dna kielicha, układając się w nim w charakterystyczny lejkowaty kształt.

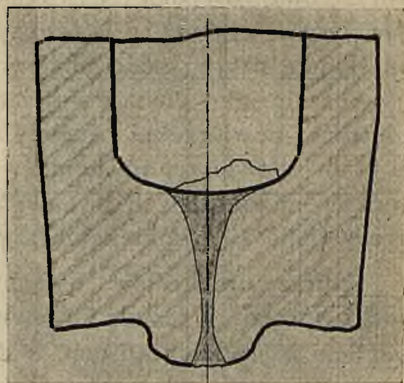
Kielich rys. 25 wytłoczono analogicznie, lecz z tą różnicą, iż nawiercony otwór posiada 18 mm; na przekroju widocznem jest spływanie materjału po bokach tłocznika do pewnej jego wysokości, ograniczonej od góry nieregularną krzywą. Rys. 25 daje bardzo interesujące wskazówki zachowania się cząstek materjału w okolicy osi klocka podczas tłoczenia.

C. Przeciąganie kielichów.

Po wytłoczeniu kielicha dalszą czynnością jest przeciąganie przez kilka pierścieni, w celu zmniejszenia grubości ścianek i nadania kształtu cylindrycznego. Tłoczenie i przeciąganie odbywa się za jednem zagrzaniem.



Rys. 25.



Rys. 26.

Spadek temperatury materjału podczas tłoczenia wynosi około 100^0 do 150^0 C, zatem temperatura kielichów, podawanych na prasę przeciągającą, wynosi około 950^0 do 1100^0 C. Kielichy przeciągnięte miały temperaturę około 880^0 C; wobec mniejszej grubości ścianek i znacznej długości przeciągniętego kielicha, — grubość denka stosunkowo najdłużej pozostaje zbiornikiem ciepła i skutkiem tego zachowuje wyższą temperaturę.

Średnie temperatury (20 przeciągniętych) kielichów były nast.:

denka		środka		otwartej części kielicha
915°		875°		850° C
różnica temperatur:	40°		25° C	

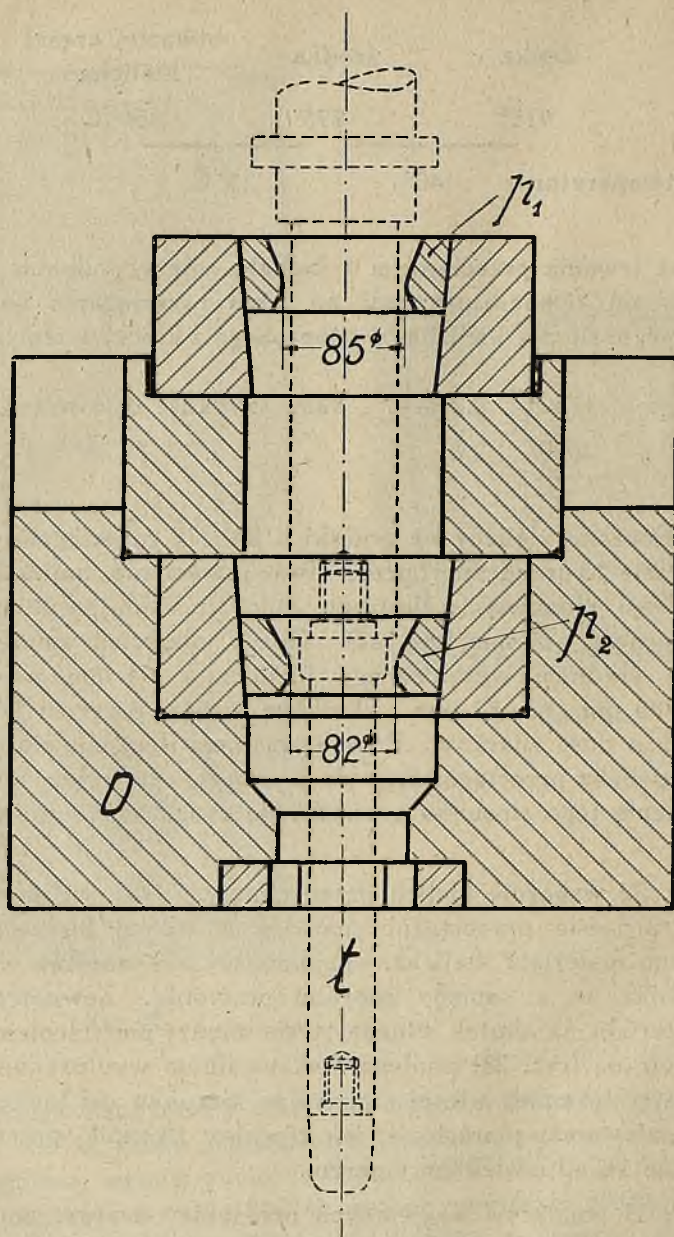
Czas trwania przeciągania 1 kielicha zależy, podobnie jak przy tłoczeniu, od temperatury; tak np. czas przeciągania na drodze 800 mm wynosił dla kielicha, wytłoczonego z klocka o temperaturze:

około 1150°	2,2 sek,	skąd	szybkość	0,36	m/sek;
„ 1080°	2,8 „	„	„	0,28	„

Wytłoczone kielichy na pociski o kal. 75 przeciąga się na pionowej prasie hydraulicznej przez dwa pierścienie, umieszczone na wspólnej osi pionowej, z których dolny posiada średnicę mniejszą od górnego o 3 mm (rys. 27). Górny pierścień zmniejsza zewnętrzną średnicę wytłoczonego kielicha z 94 mm na 85 mm; dolny z 85 mm na 82 mm., skutkiem czego przyrost wysokości kielicha jest dość znaczny. Przy normalnem tłoczeniu stosunek wysokości kielicha przeciągniętego do wytłoczonego wynosi około 3 : 2. Powiększenie tego stosunku prowadzi do zwiększenia oporów przeciągania.

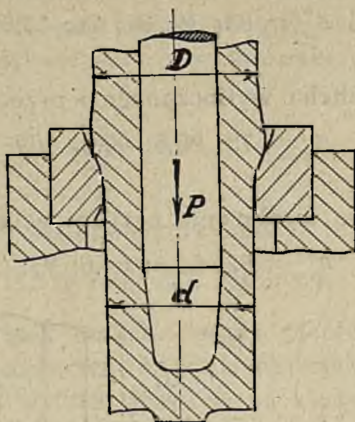
Rys. 32 wskazuje kielich przeciągnięty. Jak widać na przekroju w procesie przeciągania największy udział bierze warstwa zewnętrzna materjału kielicha,—najmniejszy zaś warstwa wewnętrzna. Wynika to z samego sposobu przeróbki. Zewnętrzna warstwa materjału na skutek silnego tarcia między pierścieniem a ścianką zewnętrzną (rys. 28) podlega maksymalnym wydłużeniom, które zmniejszają się mniej więcej linjowo w kierunku osi kielicha. Dla zmniejszenia tarcia pierścienie, jak również tłocznik przeciągający smarowane są odpowiednim smarem.

Wyniki pomiarów wzajemnych przesunięć drutów po przeciąganiu w stosunku do swych pierwotnych odległości zestawione są w tablicy 4 i na rys. 29.



Rys. 27.

p_1 — pierścień większy
p_2 — pierścień mniejszy
o — obsada pierścieni
t — tłocznik



Rys. 28.

Tablica 4.

A	26	B	32	C	32	D	32	E	32	F	26 mm
A_1	45	B_1	61	C_1	61	D_1	68	E_1	45	F_1	34 „
A_2	46	B_2	61	C_2	61	D_2	66	E_2	47	F_2	32 „
$A_1 - A$	19	$B_1 - B$	29	$C_1 - C$	29	$D_1 - D$	36	$E_1 - E$	13	$F_1 - F$	8 „
$A_2 - A$	20	$B_2 - B$	29	$C_2 - C$	29	$D_2 - D$	34	$E_2 - E$	15	$F_2 - F$	6 „
$n_1 = \frac{A_1 - A}{A}$	73	$\frac{B_1 - B}{B}$	90,6	$\frac{C_1 - C}{C}$	90,6	$\frac{D_1 - D}{D}$	112	$\frac{E_1 - E}{E}$	40,6	$\frac{F_1 - F}{F}$	30,8 %
$n_2 = \frac{A_2 - A}{A}$	77	$\frac{B_2 - B}{B}$	90,6	$\frac{C_2 - C}{C}$	90,6	$\frac{D_2 - D}{D}$	106	$\frac{E_2 - E}{E}$	47	$\frac{F_2 - F}{F}$	23 „
n'—średnie	75		90,6		90,6		109		44		27 „

Uwaga. Oznaczenia — p. uwagi do tabl. 3.

Krzywa KL (p. rys. 29) wskazuje wielkość wydłużenia różnych części gotowego kielicha w stosunku do klocka.

Średnie wydłużenie włókien na poszczególnych odcinkach między drutami przy samym tylko procesie przeciągania otrzymamy, biorąc różnicę średnich wydłużeń określonych procentowo dla kielicha przeciągniętego i wytłoczonego.

Jeśli odjąć od wydłużenia przy wytłaczaniu:

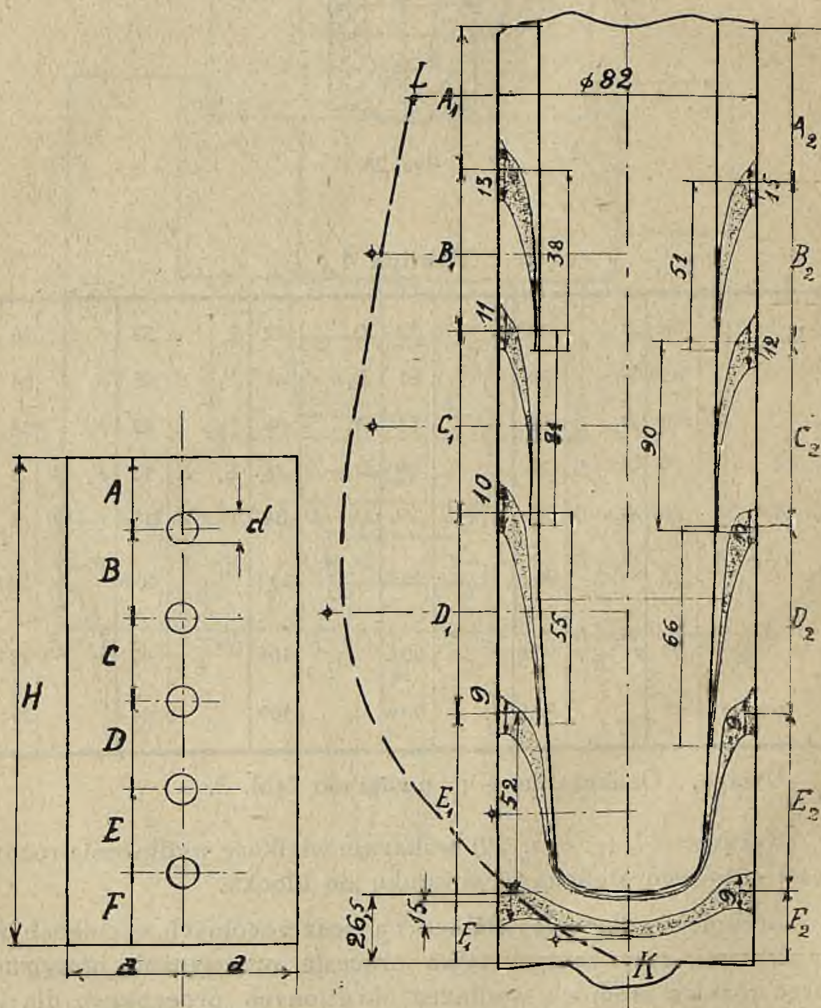
$$n^{w}_{śr} = 23;\ 36;\ 26;\ 26;\ 13;\ 5;$$

takież liczby dla kielicha wytłoczonego i przeciągniętego:

$$n'_{śr} = 75;\ 90{,}6;\ 90{,}6;\ 109;\ 44;\ 27;$$

to otrzymamy średnie wydłużenia przy przeciąganiu:

$$n^{p}_{śr} = 52;\ 54{,}6;\ 64{,}6;\ 83;\ 31;\ 22.$$



Rys. 29.

Porównywając powyższe szeregi widzimy, że w procesie przeciągania kielicha wydłużenia włókien przy ściance zewnętrznej są 1,5 do 4,4 krotnie większe niż przy tłoczeniu, gdyż np.:

$$\frac{n^{p}_{śr}}{n^{w}_{śr}} = \frac{52}{23} = 2{,}26$$

podobnież dla innych odstępów otrzymamy:

1,53; 2,48; 3,2; 2,4 i 4,4.

Proces przeciągania kielicha przez pierścienie z towarzyszącym mu silnym przesunięciem cząstek materjału zewnętrznych ścianek, wywiera bardzo widoczny wpływ na kształt drutów umieszczonych w klocku. Przekroje drutów, przy wyjściu ich na zewnętrzną powierzchnię kielicha, zostały jeszcze bardziej zniekształcone przez jeszcze większe, niż przy tłoczeniu, wydłużenie się ich wzdłuż osi kielicha.

Na przekroju wytłoczonego kielicha (rys. 16) przekrój górnego drutu wykazuje na średnicy 61 mm swój pierwotny okrągły kształt o pierwotnym wymiarze drutu 6 mm, to samo obserwujemy dla następnych drutów idąc wdół na średnicach kolejno:

61; 64; 57 i 66 mm.

Dla kielicha przeciągniętego (rys. 29) średnice te są nieco mniejsze, gdyż wynoszą kolejno poczynając od góry:

60, 60, 61, 52,5 i 54,5 mm.

Ponieważ stosunek powierzchni przekroju tłocznika o średnicy d' do powierzchni kół o wskazanych wyżej średnicach, np. dla kielicha wytłoczonego —

$$a = \left(\frac{d'}{D'}\right)^2 = \left(\frac{5{,}7}{6{,}1}\right)^2 = 0{,}87\,;$$

dla kielicha zaś przeciągniętego:

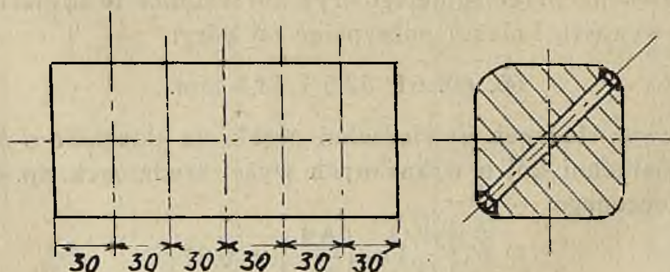
$$a' = \left(\frac{d'}{D'}\right)^2 = \left(\frac{5{,}7}{6{.}0}\right)^2 = 0{,}90\,,$$

wynika, że w obydwu wypadkach stosunek ten jest bardzo zbliżony do jedności, czyli, że powierzchnia obojętna, w której występują *najmniejsze względne przesunięcia* cząstek materjału w procesie tło-

czenia, a w szczególności w okresach płynięcia materjału ku górze, znajduje się blisko powierzchni komory w odległości około 1 mm dla kielicha wytłoczonego i około 0,5 mm dla wytłoczonego i przeciągniętego. Ta cienka warstewka materjału, dzięki wzajemnemu tarciu cząstek przylegających do tłocznika o jego powierzchnię i szybszemu studzeniu się, posuwa się wraz z nim w czasie tłoczenia ku dołowi, jakkolwiek istnieją również między nią a tłocznikiem nieznaczne względne przesunięcia, spowodowane przez poślizg wskutek obecności warstewki izolacyjnej, powstałej przez spalenie się pyłu węglowego na powierzchni styku. Tarcie występuje również między kielichem a powierzchnią wewnętrzną matrycy, przyczem jest ono niejednakowe na obwodzie z racji kwadratowego przekroju klocka. W tych miejscach obwodu (*a*, *b*, rys. 20), w których blok od pierwszej chwili przylega do ścianki matrycy występują w okresie płynięcia materjału ku górze większe tarcia cząstek o ścianki, niż w pozostałych odcinkach.

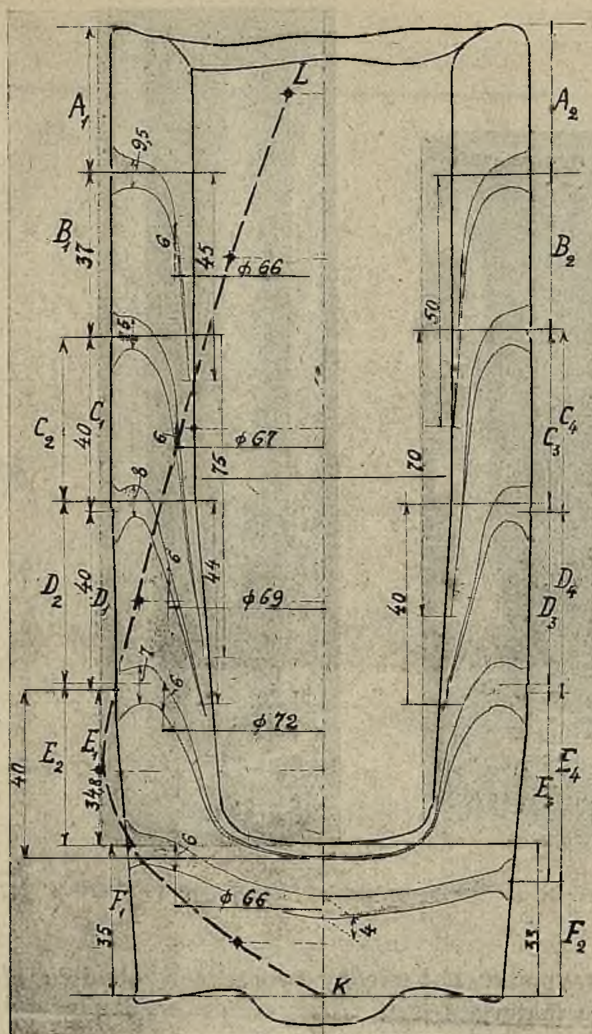
D. Ruchy materjału w płaszczyznie przekątnej.

W celu porównania ruchów cząstek materjału w miejscach przylegania do matrycy, przygotowano klocki z drutami w otworach, wierconych po przekątni (rys. 30). Przekrój kielicha wytłoczonego z takiego klocka wskazują rys. 31 i 31-a.



Rys. 30.

Porównywając rys. 10 i 31-a widzimy, że druty: drugi oraz trzeci od dołu rys. 31-a mają kształt odmienny niż w kielichu rys. 10. Idąc od ścianki zewnętrznej wgłąb wznoszą się one ku górze i na odległości 5 mm grubości ścianki osiągają maximum wzniesienia, poczem biegną na dół. Ten układ włókien w przekroju charakteryzuje sposób płynięcia materjału ku górze. Największa



Rys. 31.

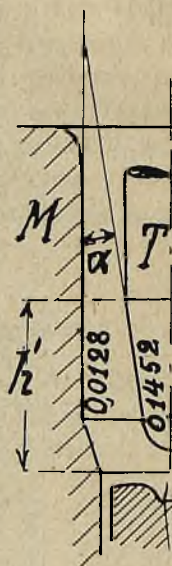
intensywność płynięcia materjału zachodzi na wysokości h' kielicha (rys. 33) lub nieco większej wskutek stożkowego zakończenia tłocznika — przytem nie występuje pośrodku ścianki, lecz wpobliżu ścianki zewnętrznej tłoczonego kielicha w odległości około 5 mm od niej. Dzieje się to z powodu dławienia materjału na tej wysokości wskutek różnych pochyleń stożków matrycy i tłocznika.



Rys. 31-a.



Rys. 32.



Rys. 33.
T — tłocznik.
M — matryca.

W danym przypadku kąt między tworzącemi obydwu stożków, t. j. kąt dławienia materjału jest:

$$\sphericalangle \alpha = 7^0 32'.$$

Najmniejsza wartość tego kąta, odpowiadająca najmniejszemu dławieniu materjału, otrzymuje się przy tłoczniku o kształcie walca i przyjętej zbieżności matrycy (0,0128), wtedy:

$$Tg\, \alpha_1 = 0{,}0128, \text{ skąd } \alpha_1 = 0^0{,}44'.$$

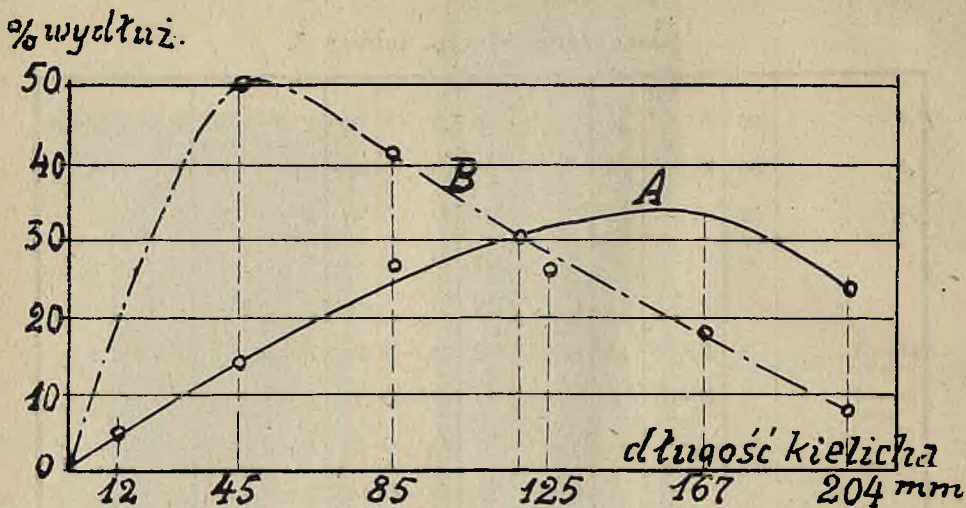
Pomiary przekroju kielicha przewierconego po przekątnej wskazuje tablica 5 i rys. 31, na którym została wykreślona krzywa *LK* procentowych wydłużeń włókien materjału w ściankach wzdłuż całej długości kielicha.

Tablica 5.

Oznaczenia liter p. tablica 3.

A	30	B	30	C	30	D	30	E	30	F	30 mm
A_1	33	B_1	35	C_1	39	D_1	40.5	E_1	34	F_1	35 „
A_2	31	B_2	36	C_2	37	D_2	41	E_2	36	F_2	— „
—	—	—	—	C_3	37	D_3	44	E_3	—	—	— „
—	—	—	—	C_4	39	D_4	44.5	E_4	—	—	— „
$A_1—A$	3	$B_1—B$	5	$C_1—C$	9	$D_1—D$	10.5	$E_1—E$	14	$F_1—F$	5 „
$A_2—A$	1	$B_2—B$	6	$C_2—C$	7	$D_2—D$	11	$E_2—E$	16	$F_2—F$	— „
—	—	—	—	$C_3—C$	7	$D_3—D$	14	$E_3—E$	—	—	— „
—	—	—	—	$C_4—C$	9	$D_4—D$	14.5	$E_4—E$	—	—	— „
$n_1 = \frac{A_1—A}{A}$	10.0	$\frac{B_1—B}{B}$	16.7	$\frac{C_1—C}{C}$	30	$\frac{D_1—D}{D}$	35	$\frac{E_1—E}{E}$	46.5	$\frac{F_1—F}{F}$	16.7 %
$n_2 = \frac{A_2—A}{A}$	3.3	$\frac{B_2—B}{B}$	20.0	$\frac{C_2—C}{C}$	23.5	$\frac{D_2—D}{D}$	36.5	$\frac{E_2—E}{E}$	53.5	$\frac{F_2—F}{F}$	— „
—	—	—	—	$\frac{C_3—C}{C}$	23.5	$\frac{D_3—D}{D}$	46.5	$\frac{E_3—E}{E}$	—	—	— „
—	—	—	—	$\frac{C_4—C}{C}$	30.0	$\frac{D_4—D}{D}$	48.5	$\frac{E_4—E}{E}$	—	—	— „
n średnie	7.0	—	18.0	—	26.0	—	41.0	—	50.0	—	16.7 „

Zestawiając dla porównania wydłużenia włókien materjału w procesie tłoczenia kielichów (p. rys. 24 i 31) otrzymamy dwie krzywe (rys. 34) charakteryzujące intensywność płynięcia do góry materjału tłoczonego w ściance kielicha w dwóch płaszczyznach wzajemnie położonych pod kątem 45^0. Obie krzywe, — w rzeczywistości otrzymane z dwóch różnych kielichów,—mogą być z dużem przybliżeniem odniesione do tego samego kielicha, gdyż obydwa kielichy zostały wytłoczone w bardzo podobnych warunkach. Jak widać z rys. 34, materjał położony wpobliżu przekątnych przekroju kwadratowego klocka, płynie intensywnie w pierwszym okresie procesu tłoczenia, a znacznie słabiej przy końcu (krzywa *B*). Odwrotnie rzecz się ma z materjałem, leżącym nawprost wolnej przestrzeni między matrycą a blokiem (krzywa *A*), — cząstki te płyną słabiej w pierwszych dwóch



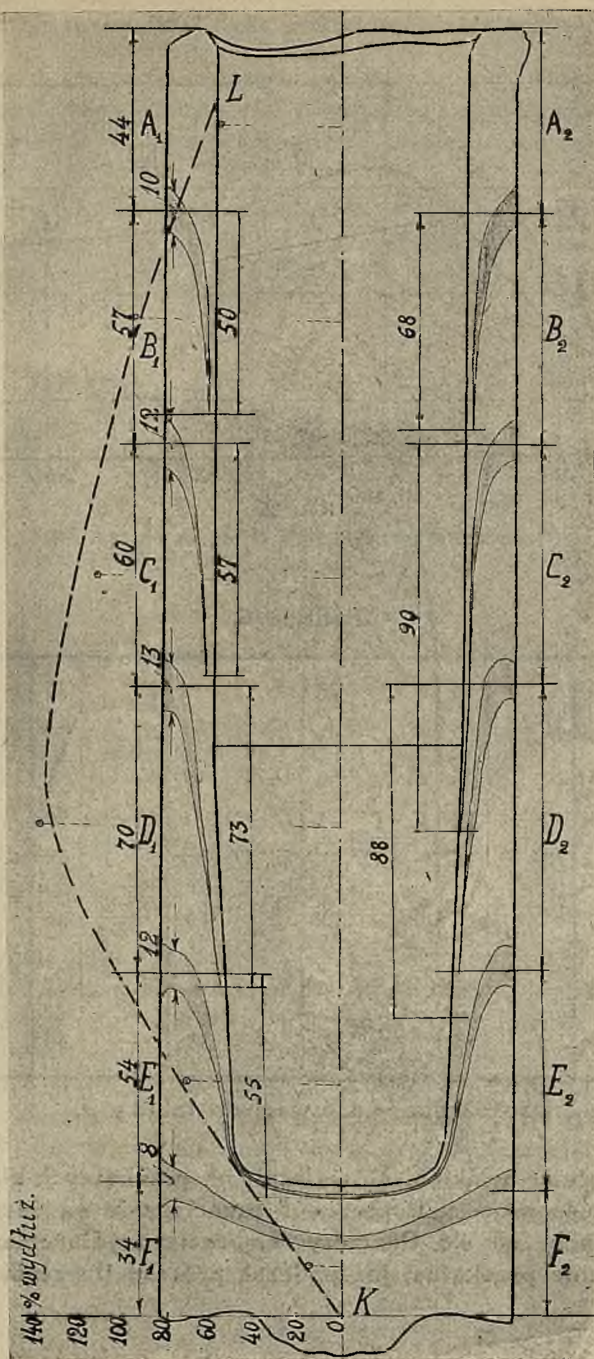
Rys. 34.
A — krzywa wydłużeń w płaszczyźnie równoległej do boku:
B — krzywa wydłużeń w płaszczyźnie przekątnej.

okresach tłoczenia, znacznie zaś intensywniej w okresie trzecim. W rezultacie otrzymuje się znacznie większe wydłużenie włókien materjału, położonego w strefach po przekątnej klocka w części kielicha poniżej 120 mm wysokości, licząc od dna, w górnej zaś części kielicha mocniejszym wydłużeniom podlegają włókna, położone na połowie szerokości klocka.

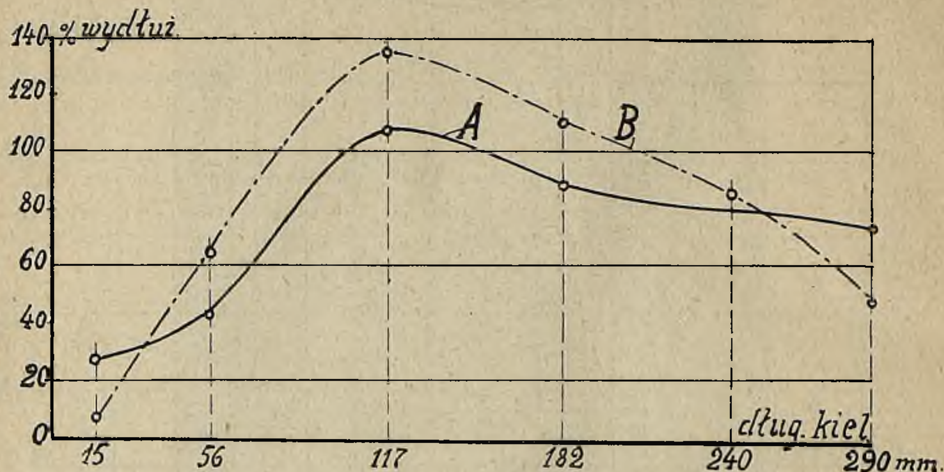
Podobnie przygotowany klocek z drutami w kierunku przekątni wytłoczono i przeciągnięto, otrzymany przekrój, który podczas tłoczenia leżał w płaszczyznie przekątnej, wskazuje rys. 35, dane zaś pomiarowe zawiera tablica 6.

Na rys. 35 wykreślono krzywą KL procentowych wydłużeń włókien dla danego przekroju, a na rys. 36—porównanie krzywych wydłużeń (w obu płaszczyznach) kielichów przeciągniętych.

Obie krzywe są do siebie podobne z kształtu, przyczem krzywa dla kielicha przeciętego po przekątnej klocka, podczas wytłaczania, przebiega wyżej, miejsca zaś największych wydłużeń dla obu płaszczyzn są jednakowe (na wysokości $h \cong 117$ mm), co jest zrozumiałę, ze względu na jednakowe wypełnienie pierścieni przeciągających w obu płaszczyznach.


L
K
A1
A2
B1
B2
C1
C2
D1
D2
E1
E2
F1
F2
44
10
57
50
68
12
60
57
90
13
70
73
88
12
54
55
8
34
140% wydłuż.
140
120
100
80
60
40
20
0

Rys. 35.



Rys. 36.
(Oznaczenie krzywych *A* i *B* — jak na rys. 34).

Tablica 6.

A	30	B	30	C	30	D	30	E	30	F	30 mm
A_1	44	B_1	57	C_1	61	D_1	71	E_1	50	F_1	32 "
A_2	46	B_2	56	C_2	66	D_2	67	E_2	—	F_2	— "
$A_1—A$	14	$B_1—B$	27	$C_1—C$	31	$D_1—D$	41	$E_1—E$	20	$F_1—F$	2 "
$A_2—A$	16	$B_2—B$	26	$C_2—C$	36	$D_2—D$	37	$E_2—E$	—	$F_2—F$	— "
$\frac{A_1—A}{A}$	46,5	$\frac{B_1—B}{B}$	90	$\frac{C_1—C}{C}$	103	$\frac{D_1—D}{D}$	136	$\frac{E_1—E}{E}$	66	$\frac{F_1—F}{F}$	7 %
$\frac{A_2—A}{A}$	53	$\frac{B_2—B}{B}$	86,5	$\frac{C_2—C}{C}$	120	$\frac{D_2—D}{D}$	—	$\frac{E_2—E}{E}$	—	$\frac{F_2—F}{F}$	— "
n śr.:	50	—	88	—	111	—	136	—	66	—	7 "

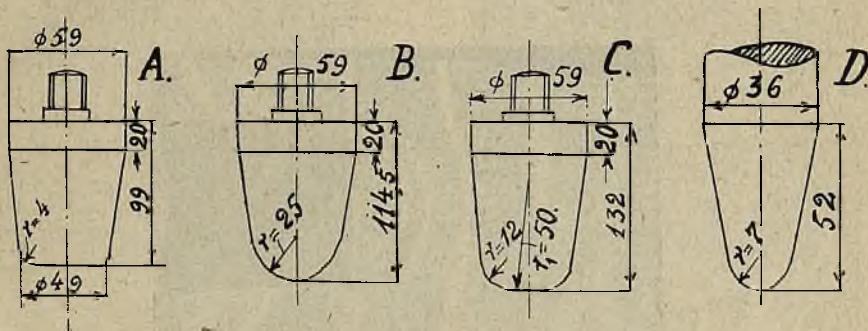
Uwaga. Oznaczenia — p. uwagi do tablicy 3.

Wydłużenie włókien, które leżały na przekątnych klocka, w rezultacie całego procesu tłoczenia i przeciągania są nieco większe od pozostałych, co się tłumaczy większemi wydłużeniami włókien w płaszczyznie przekątnej już podczas procesu tłoczenia.

E. Ruchy materjału przy różnych kształtach tłoczników.

W celu zbadania sposobu układania się włókien materjału kielicha przy pracy tłocznikami o różnych zakończeniach, wytłoczono szereg kielichów, przyczem sposób tłoczenia i inne czynniki pozostały bez zmiany.

Kształty stosowanych zakończeń tłoczników wzorowane były na stosowanych przez L. Guillet'a przy badaniach nad tworzeniem się „martwych stożków („pastille") przy wytłaczaniu pocisków; wymiary ich wskazuje rys. 37.



Rys. 37.

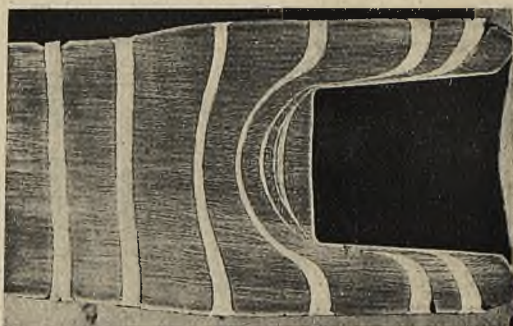
Tłocznikami *A* i *B* wytłoczono po cztery kielichy, przyczem
pierwszy kielich wytłoczono do około $^1/_4$ długości
drugi do $^2/_4$ „
trzeci do $^3/_4$ „
czwarty do normalnej długości, t. j. $^4/_4$ „
tłocznikiem zaś *C* — 3 kielichy, zagłębiając tłocznik do $^1/_4$, $^1/_2$ i $^3/_4$ długości.

Otrzymane wyniki ilustrują rys. 38 do 60.

Zmiana kierunków włókien na przekrojach kielichów, wytłoczonych tłocznikami *A* i *B* (rys. 38 do 53) jest bardzo charakterystyczna: płaskie dno i ostre krawędzie tłocznika *A* przeszkadzają swobodnemu przepływowi cząstek materjału, włókna ulegają zgnieceniu pod płaskim tłocznikiem, dając możność tworzenia się pod tłocznikiem stożka, składającego się z cząstek materjału zatrzymanego w swym ruchu i nierzadko o osłabionym związku z resztą materjału. Osłabienie to może w sprzyjających warunkach doprowadzić do całkowitego oddzielenia się tego martwego stożka, — zjawiska bardzo niebezpiecznego przy wyrobie pocisków.



Rys. 38.



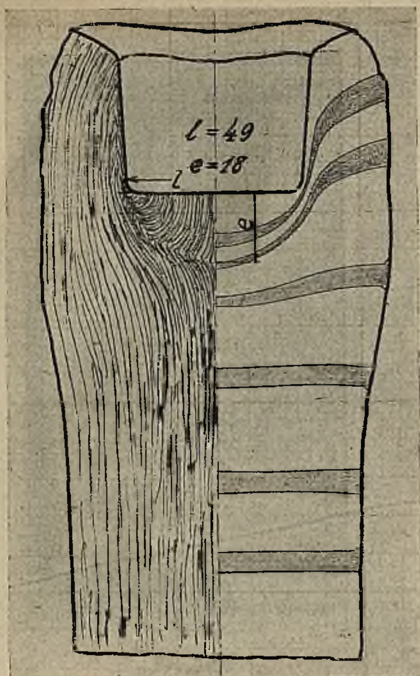
Rys. 39.



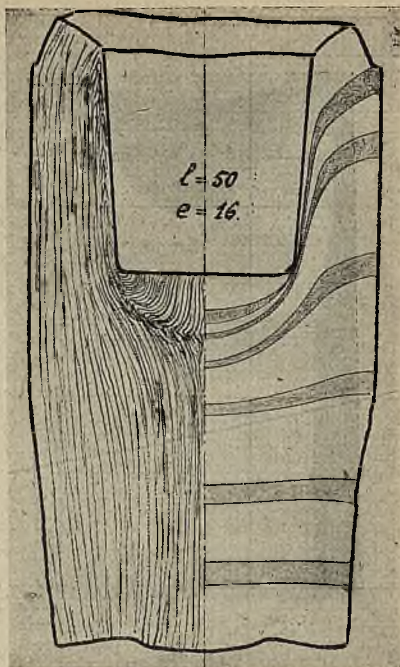
Rys. 40.



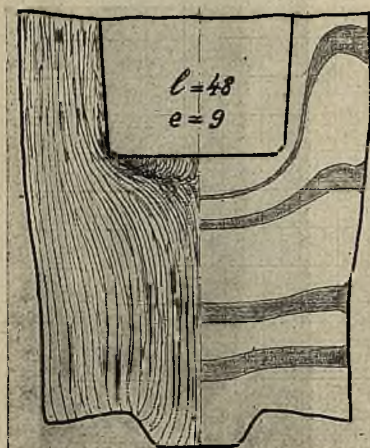
Rys. 41.



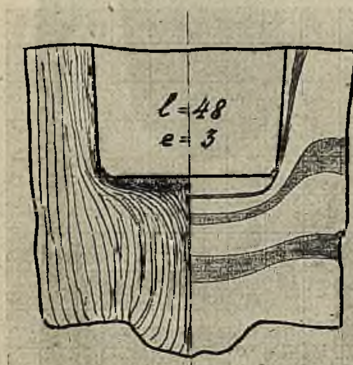
Rys. 42.



Rys. 43.



Rys. 44.



Rys. 45.



Rys. 46.



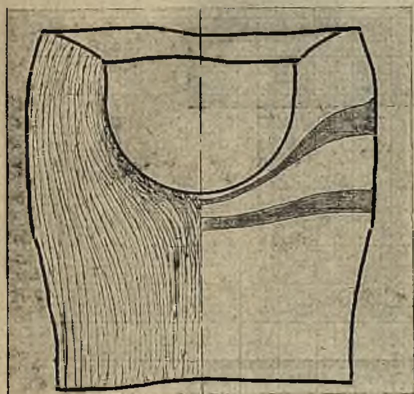
Rys. 47.



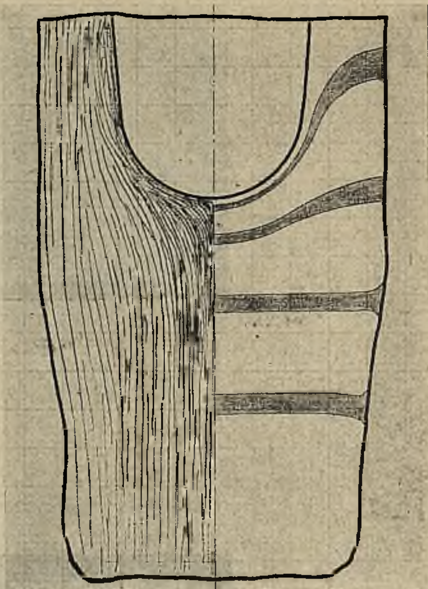
Rys. 48.



Rys. 49.



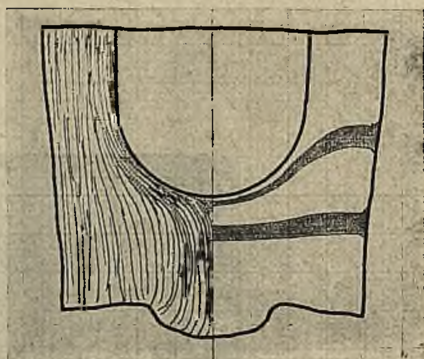
Rys. 50.



Rys. 51.



Rys. 52.



Rys. 53.



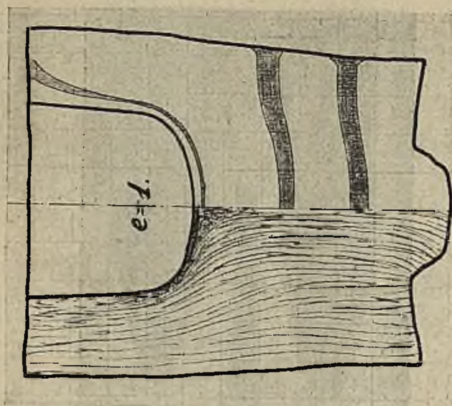
Rys. 54



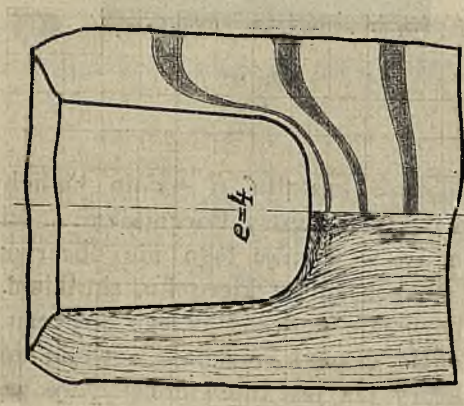
Rys. 55.



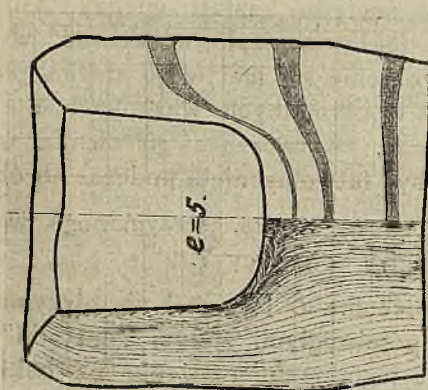
Rys. 56.



Rys. 59.



Rys. 58.



Rys. 57.



Rys. 60.

Przeciwnie, tłocznik kształtu *B* — daje kielichy, w których przepływ cząstek materjału między tłocznikiem i ścianką matrycy jest możliwie swobodny; w wyniku tego nie obserwujemy żadnych załamań włókien i ostrych zmian kierunku, skutkiem czego związek cząstek materjału pozostaje podczas całego procesu tłoczenia nienaruszony. Taki ruch cząstek nie daje powodu do tworzenia się martwego stożka, który też jest niewidoczny we wszystkich stadjach pracy (por. rys. 46 do 53).

Tłocznik *C* ma pośredni kształt między *A* i *B* zbliżający się jednak do *A*, toteż, jakby należało oczekiwać, wyniki (rys. 54 do 59) wskazują na tworzenie się martwego stożka jednak o tak małych wymiarach, że w normalnych warunkach nie może być niebezpieczny; zwłaszcza, że tworząca go cienka warstwa, grubości około 1 mm, może być łatwo usunięta podczas obróbki mechanicznej.

Wielkości martwego stożka, otrzymanego w rozpatrywanych kielichach zawierają się w tablicy 7.

Przy użyciu tłocznika *D* (rys. 37) nie otrzymuje się, podobnie jak przy tłoczniku półokrągłym, żadnej „pastylki", gdyż stożkowe zakończenie sprzyja łagodnemu usuwaniu na boki włókien jeszcze w większym stopniu, niż półkulisty tłocznik *B*.

Tablica 7.

Wielkości martwych stożków w kielichach.

Tłocznik	A		C	
głębokość wytłoczenia	podstawa *l* mm	wysokość *e* mm	podstawa *l* mm	wysokość *e* mm
1/4	49	18	48	5
2/4	50	16	42	4
3/4	48	9	40	1
4/4	48	3		

Rys. 60 wskazuje kielich dla pocisku kal. 47 mm wytłoczony i przeciągnięty tłocznikiem *D*.

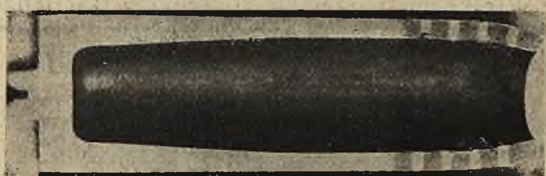
Przeprowadzone doświadczenia potwierdzają wyniki Guillet'a: martwy stożek otrzymuje się przy tłoczniku płaskim, przyczem na początku procesu tłoczenia jest on większy, — w miarę zaś pogrążania się tłocznika — maleje. Im bardziej zakończenie tłocznika zbliża się do powierzchni ułatwiającej płynięcie materjału po tłoczniku, tem tendencja do tworzenia się stożka maleje.

Zestawienie rys. 41 i 49 wskazuje wyraźnie różnice, zachodzące w płynięciu cząstek metalu w dwóch krańcowych wypadkach: przy użyciu tłoczników *A* i *B*.

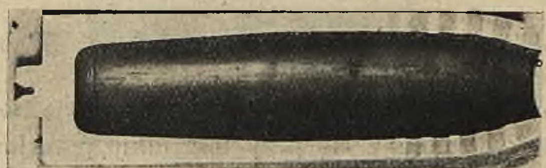
IV. ZWĘŻANIE KIELICHÓW.

A. Ruchy materjału przy zwężaniu.

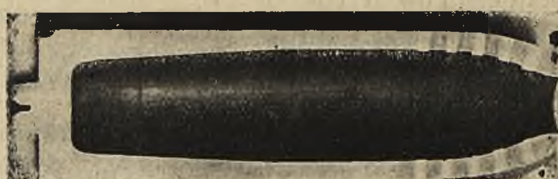
W celu otrzymania odpowiedniego profilu kielicha i prawidłowego ukształtowania się oka, niezbędny jest pewien naddatek wysokości kielicha niezwężonego w stosunku do długości kielicha po zwężaniu (p. rys. 1 *c* i *d*). Tak np. dla omawianego typu pocisków pierwotna długość kielicha — 284,3 mm zmniejsza się po zwężeniu do 270,6 mm. Zmniejszenie się wysokości stanowi 13,7 mm t. j. około 4,83% pierwotnej długości. Materjał ten zostaje „osadzony" t. j. nagromadzony wpobliżu osi podłużnej kielicha, tworząc oko. Poszczególne stadja tworzenia się oka podają rys. 61 — 64 i kreskowe rys. 65 — 68. Rys. 69 przedstawia oko całkowicie uformowane.



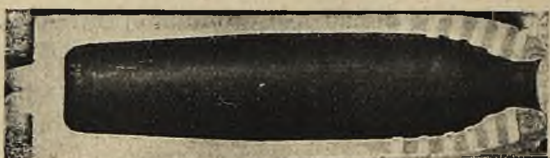
Rys. 61.



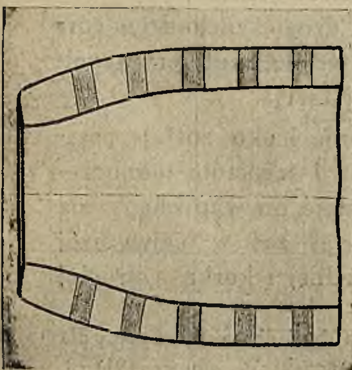
Rys. 62.



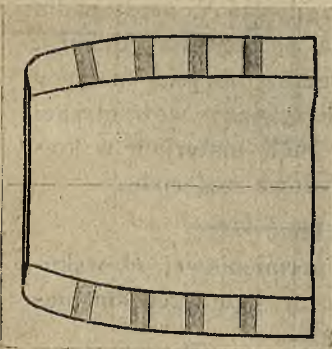
Rys. 63.



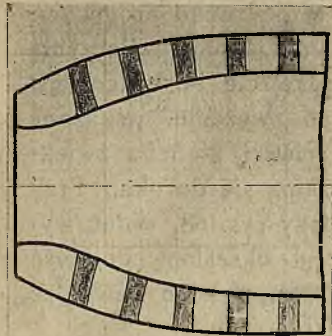
Rys. 64.



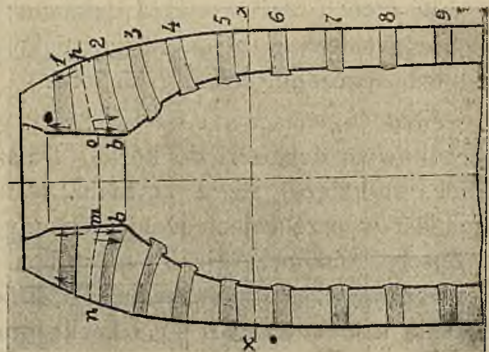
Rys. 65.



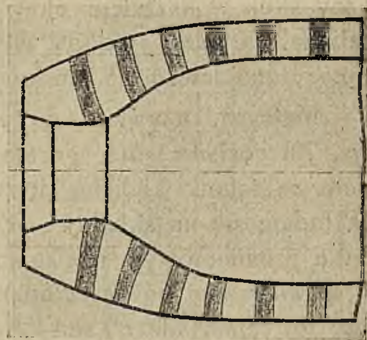
Rys. 66.



Rys. 67.



Rys. 68.



Rys. 69.

Materjał górnej zagrzanej części kielicha, pod wpływem uderzenia matrycy z góry na dół, usuwa się w kierunku promieniowym, doznając jednocześnie w nieznacznym stopniu stłoczenia w kierunku równoległym do osi, przyczem przejście od walcowego kształtu kielicha do krzywej powierzchni po zwężeniu, wskazane na rys. 65 do 69, odbywa się stopniowo i ścianki kielicha zwiększają łagodnie swoją grubość w miarę zbliżania się do oka. Przy przejściu od kształtu rys. 67, do następnej fazy rys. 68, widać wyraźny skok w kształcie oka. Ze względu na określoną objętość kielicha, zarówno średnica wewnętrzna jak i ostrołuk od wewnątrz komory znajdować się muszą w ustalonych granicach.*)

Matryca, używana do zwężania, wraz z korkiem i tulejką (rys. 70) posiada ruch postępowy na dół i w czasie zwężania wywiera na ścianki kielicha siły P równoległe do osi (rys. 71). Siły te rozkładają się na składowe R i N z których siła R działa w kierunku promieniowym naciskając na matrycę, siła zaś N, prostopadła do wewnętrznej powierzchni matrycy, działa na materjał kielicha. Przy tej samej sile P, siła N zmienia się wzdłuż obrysia matrycy co do wartości i kierunku swego wskutek krzywizny wewnętrznej powierzchni matrycy. Reakcja R powoduje ruch materjału w kierunku dośrodkowym, siła P — spęczanie poosiowe materjału.

Cały proces zwężania podzielić można na 3 fazy.

W fazie I-szej przeważa działanie siły promieniowej R, wskutek czego materjał zbiega się dośrodkowo, przy jednoczesnem niewielkiem spęczaniu ścianek kielicha.

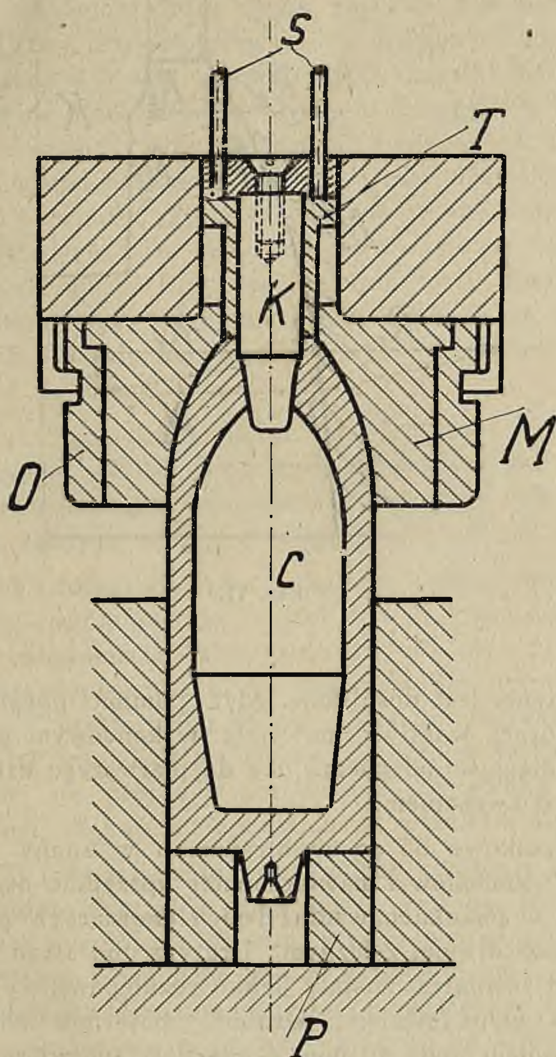
Faza II-ga zaczyna się w chwili, gdy materjał w swym ruchu dośrodkowym dochodzi do korka. Dalszy ruch promieniowy części kielicha stykającej się z korkiem, jest uniemożliwiony, istnieje on natomiast w przekrojach niżej położonych, które jeszcze do korka nie doszły. Równocześnie z początkiem fazy drugiej zachodzi w górnej zwężanej części intensywne spęczanie materjału, skutkiem współdziałania nacisków: matrycy i korka oraz sił tarcia.

W fazie III-ej zachodzi dalsze spęczanie i oko zostaje ostatecznie uformowane. Dzięki działaniu korka i ściskaniu jednoczesnemu materjału przez matrycę i korek, zostaje on wypychany na dół jak wskazują strzałki na rys. 69, materjał zaś w najwyższej części kielicha, dzięki działaniu matrycy z jednej i korka z drugiej

---

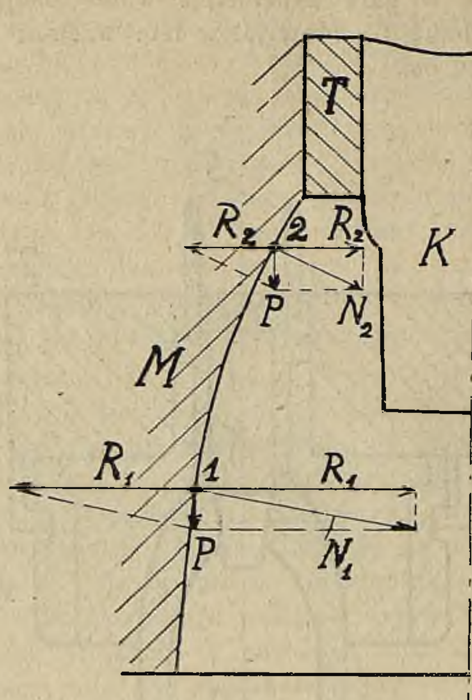
*) Przebieg procesu zwężania byłby znacznie bardziej charakterystyczny dla pocisku o bardziej wydłużonym kształcie (np. granat francuski 75 mm wz. 1917 r.).

strony, unosi się w górę zapełniając wolne miejsca aż do chwili oparcia się o tulejkę T. Materjał w tem miejscu doznaje wydłużenia w kierunku osi.



Rys. 70.

C — skorupa
K — korek do utworzenia oczka
T — tulejka spychająca
S — spychacze
M — matryca
O — obsada matrycy
P — podkładka



Rys. 71.

Wydłużenie jest dość duże, gdyż pomimo początkowego spęczania się górnej warstwy materjalu, w końcowym etapie procesu zwężania, odległość od płasku oka do pierwszego drutu jest większa niż przed zwężaniem.

Rys. kreskowe 65 do 69 otrzymano w znany sposób przez przekrajanie kielichów z nawierconemi uprzednio otworami o średnicy 5 mm w ściankach, wzdłuż dwóch tworzących przeciwległych i wypełnionemi drutem żelaznym. Druty z obu stron, od wewnątrz kielicha i od zewnątrz zostały lekko rozklepane, celem zabezpieczenia przed wypadnięciem, Grubość materjału ścianki kielicha przed zwężaniem była 10 mm, a odległość pierwotna między drutami wynosiła 15 mm. Po zwężeniu odległość powyższa jak również układ drutów i ich grubość uległy pewnym zmianom.

Pierwszy drut od góry (rys. 69) z obu stron osi kielicha wydłużył się dość znacznie w stosunku do swej pierwotnej długości.

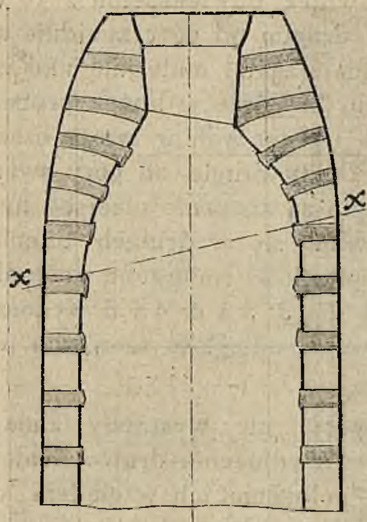
Wydłużenie wynosi: $\frac{16-10}{10} \times 100 = 60\%$.

Przekrój drutu uległ zmianie. Z okrągłego stał się owalnym, wydłużając się w kierunku osi skorupy. Tłumaczy się to płynięciem materjału ku górze; w końcowej fazie zwężania odległość od płasku oka do osi tegoż drutu uległa również powiększeniu z 10 do 12,5 mm. Między drutami pierwszym i drugim od góry znajduje się strefą graniczna *n-m-o-p*, odgraniczająca cząstki materjału nad nią położone, które biorą udział w płynięciu ku górze w końcu procesu zwężania, od cząstek tylko stłaczanych i płynących w tymże czasie w kierunku promieniowym i na dół. Druty drugie od góry swemi końcami od wewnątrz skorupy, położone są znacznie niżej od końców zewnętrznych. To samo obserwuje się w drutach trzecich i czwartych od góry. Poszczególne odległości mierzone pośrodku ścianki kolejno między drutami 1 i 2, 2 i 3, 3 i 4, 4 i 5 wynoszą: 6,5 — 6 — 7,5 — 9 mm, zaś między 5 i 6 — odległość ta równa jest pierwotnej, t. j. 15 mm.

Poniżej 5-go drutu, licząc od góry, nie wystąpiły zmiany widoczne gołem okiem. Stopniowo też wydłużenia drutów maleją, a przekroje wzrastają; jednocześnie położenie ich względem osi coraz mniej odbiega od pierwotnego prostopadłego do osi skorupy.

Rys. 72 i fotografja 72-a wskazują kształt zwężenia oka kielicha *krzywo zagrzanego* do prostej *X — X*, która odgranicza strefę gorącą od chłodniejszej nieprostopadle do osi, podczas gdy kielich przedstawiony na rys. 69 zagrzany był normalnie, t. j. do prostej *X — X* prostopadłej do osi. Ścianka zagrzana na większej swej długości (rys. 72 lewa strona przekroju) wskazuje normalne uformowanie się profilu w porównaniu ze stroną prawą, gdzie materjał uległ większemu spęczeniu na mniejszej długości kielicha.

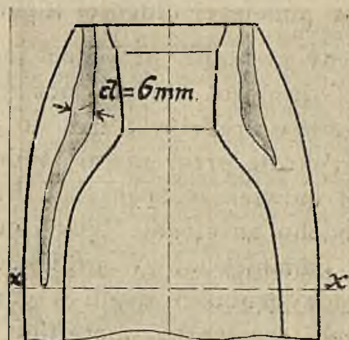
Rys. 73 i 74 wskazują dwa kielichy zwężone, przyczem jeden został normalnie zagrzany, drugi zaś — krzywo; kielichy posiadały nawiercone i wypełnione drutem otwory o średnicy 5 mm do głębokości ∾ 70 mm równolegle do osi. Przekroje przez otwory i profil uformowanego oka wskazują na rys. 74 największe spęczenie drutu, występujące w krzywo zagrzanym kielichu na stronie lewej, gdzie długość nagrzanej części kielicha była najmniejsza. W prawidłowo zagrzanym kielichu (rys. 73) zmniejszenie grubości drutu w górnej części (u płasku oka) wskazuje na ruch cząsteczek materjału do góry.



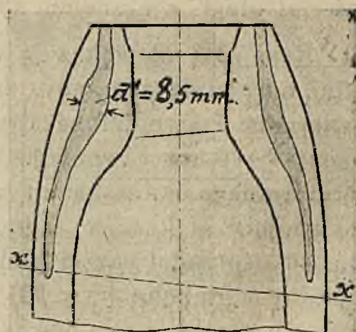
Rys. 72.



Rys. 72-a.



Rys. 73.



Rys. 74.

B. Wpływ zwężania na zmianę profilu kielicha.

Proces zwężania wpływa nietylko na zmniejszenie się długości kielicha, lecz również powoduje pewną zmianę jego zewnętrznego profilu poniżej zagrzanej części. Zmniejszenie się długości na różnych odcinkach części profilu kielicha nie jest jednakowe. W celu stwierdzenia tych zmian, wykonano następujące doświadczenia.

Gładko obtoczony kielich podzielono na szereg pasków na całej swej długości przez nacięcie na tokarce na zewnętrznej powierzchni kielicha płytkich rowków. Odległości rowków wskazuje rys. 75.

Po dokonaniu tego pomierzono w miejscach ponacinanych karbów średnice kielicha w dwóch prostopadłych do siebie kierunkach wzdłuż tych samych tworzących przed i po zwężeniu. Wyniki pomiarów wskazuje tablica 8 oraz krzywa rys. 76.

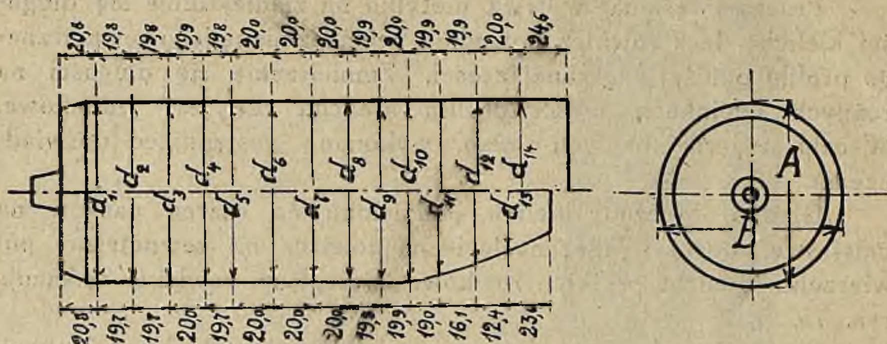
Tablica 8.

Liczby tablicy oznaczają średnice kielicha w setnych milimetra; rzeczywiste średnice = 77 mm + ilość setnych wskazanych w tablicy.

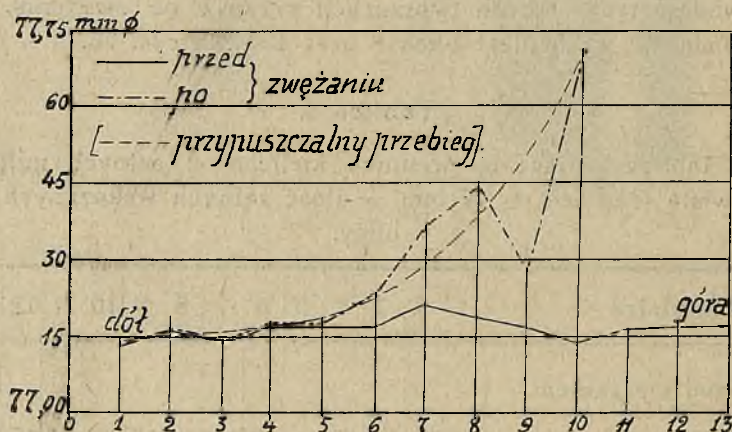
Średnice *d*:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Przed zwężaniem														
Wymiar A mm	14	16	14	17	16	17	18	18	15	13	14	15	16	17
„ B „	14	16	15	16	18	17	25	20	18	15	17	16	16	17
Po zwężaniu														
Wymiar A mm	15	16	14	18	18	24	36	44	27	70	—	—	—	—
„ B „	14	16	15	17	18	23	36	45	30	72	—	—	—	—

Z krzywej widzimy, że w miejscu przejścia od części walcowej do ostrołukowej nastąpiło wybrzuszenie kielicha nazewnątrz. Średnica w tem miejscu zwiększyła się o (77,72 — 77,15) = 0,57 mm, co stanowi $\frac{0,57}{77,15} \times 100 = 0,74\%$.

W miarę zbliżania się do dna, różnica średnic maleje i równa się zeru przy średnicy d_3.



Rys. 75.

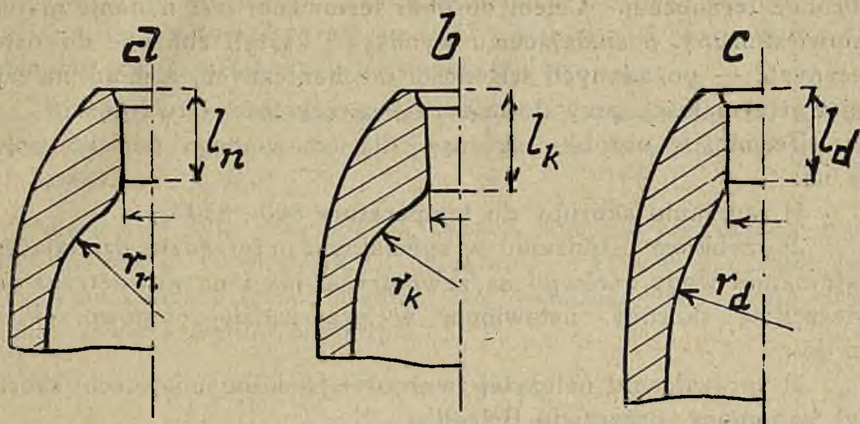


Rys. 76.

C. Wpływ długości zagrzania na kształt oka i na zmianę objętości kielicha.

Długość zagrzania kielicha od strony, która ma zostać zwężoną, musi być ustalona drogą prób, gdyż od krótszego lub dłuższego zagrzania zależy utworzenie się dłuższego czy też krótszego oka, od czego znów zależy pojemność komory kielicha (skorupy), która musi zawierać się w pewnych ustalonych granicach. Kielich zagrzany normalnie, t. j. na długości $\cong$ 75 mm dla omawianych pocisków, po zwężeniu tworzy profil pośredni między tym, który otrzymuje się przy krótko zagrzanym, a długo zagrzanym kielichu.

Rys. 77-a przedstawia przekrój kielicha przez oko, utworzone w warunkach normalnego zagrzania i zwężenia, podczas kiedy 77-b wskazuje oko kielicha zagrzanego na mniejszej długości, wreszcie 77-c — zagrzanego na większej długości, niż normalna.



Rys. 77.

Kształty: *a*—normalny, *b*—kielich krótko zagrzany; *c*—kielich dlugo zagrzany ($r_d > r_n > r_k$ i $l_d < l_n < l_k$).

Przy zbyt krótkiem zagrzaniu kielicha, materjał nie osiada tak łatwo, gdyż chłodniejszy materjał w niżej położonych przekrojach stawia większy opór, dzięki czemu więcej materjału nagromadza się w samym oku na obwodzie korka do zwężania, skutkiem czego długość oka jest większa i krzywizna profilu pod okiem — większa t. zn. promień krzywizny mniejszy; odwrotnie, — długo zagrzany kielich zostaje odkształcony na większej długości, skutkiem czego długość oka jest mniejsza i krzywizna pod okiem również mniejsza.

Największą objętość, z pośród trzech w różnych warunkach zwężonych kielichów, posiada kielich krótko zagrzany (rys. 77-b) najmniejszą zaś — kielich zagrzany na większej długości niż normalnie. Pośrednią objętość posiada kielich zwężony przy normalnej długości zagrzania.

V. OBRÓBKA TERMICZNA SKORUP.

A. Sposób wykonania obróbki termicznej.

Zwężone skorupy podlegają rozwierceniu oka, a następnie obróbce termicznej. Celem obróbki termicznej jest nadanie materjałowi skorupy, posiadającemu wymiary i kształt zbliżone do ostatecznych, — pożądanych własności mechanicznych, a mian. należytej wytrzymałości, przy dostatecznej sprężystości i twardości.

Termiczna obróbka skorupy dla omawianego pocisku polega na:

1) zagrzaniu skorupy do temperatury 800—850°C;

2) szybkiem ostudzeniu w specjalnym przyrządzie, działającym natryskami wody zarówno na zewnętrzną, jak i na wewnętrzną powierzchnię skorupy, ustawionej w przyrządzie pionowo, okiem na dół;

3) sprawdzeniu należytej twardości (w kilku miejscach skorupy) zapomocą przyrządu Brinell'a;

4) odpuszczeniu skorup przez ponowne zagrzanie do temperatury 575—600° C i ostudzeniu powolnem na powietrzu, lub szybszem — w gorącej wodzie i ostatecznie — na powietrzu.

O ile prawidłowa obróbka termiczna skorup polepsza własności materjału, o tyle nieprawidłowo przeprowadzone etapy obróbki, jakim podlega stal pociskowa, a przedewszystkiem hartowanie i odpuszczanie, — mogą własności te znacznie pogorszyć.

Ażeby więc obróbka termiczna mogła rzeczywiście polepszyć własności mechaniczne materjału skorup, należy przestrzegać przepisanych temperatur, równomierności nagrzania i studzenia skorup podczas hartowania i nagrzewania dla odpuszczania. W nierównomiernie nagrzanym lub studzonym materjale powstają naprężenia wewnętrzne, które zwiększają naprężenia, znajdujące się już w skorupach w wyniku poprzedniej obróbki (tłoczenia, przeciągania, zwężania, obróbki mechanicznej i t. p.).

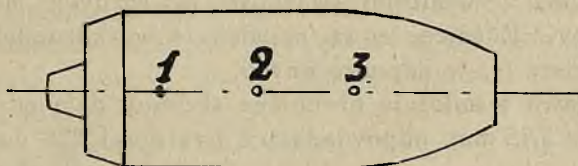
Opisane dalej doświadczenia, przeprowadzone nad obróbką termiczną skorup, oczywiście nie wyczerpują tej tak ważnej sprawy, lecz wskazują na przykładach, czego można oczekiwać przy różnych nieprawidłowościach tej obróbki. Oceniając wpływ poszczególnych czynników, należy mieć zawsze w pamięci, że wpływ ten może być spotęgowany przez obecność innych szkodliwych zjawisk i w wyniku doprowadzić do pęknięcia skorupy lub, co gorsza, pocisku gotowego.

B. Wahania stopnia twardości skorup termicznie obrobionych.

W normalnych warunkach pracy warsztatowej wahania stopnia twardości skorup w różnych stadjach wyrobu są nie do uniknięcia, należy jedynie starać się, ażeby wahania te nie przekraczały pewnych granic, uważanych za dopuszczalne.

W celu przekonania się o wielkości wspomnianych różnic twardości, zmierzono twardości dwóch skorup dowolnie wybranych z bieżącej produkcji.

Twardość była mierzona na każdej skorupie przyrządem Brinell'a (używając 10 mm kulkę i obciążenie 3 t) w 6 miejscach, leżących na końcach trzech średnic, jak wskazano na rys. 78. Tablica 9 zawiera wyniki pomiarów.



Rys. 78.

Tablica 9.

Średnice odcisków kulki (mm).

Miejsca pomiaru:	Skorupa 1.						Skorupa 2.					
	1	2	3	1′	2′	3′	1	2	3	1′	2′	2′
1. skorupy wyżarzone	4,8	4,65	4,7	4,8	4,65,	465	4,7	4,65	4,6	4,65	4,65	4,6
2. zahartowane	2,75	2,8	2,7	3,0	2,6,	27	2,65	2,65	2,6	2,7	2,75	2,7
3. odpuszczone	3,4	3,35	3,5	3,45	3,5,	355	3,45	3,45	3,5	3,5	3,5	3,55

Największe wahania w średnicy odcisków na skorupach wyżarzonych były: 4,6 i 4,8 mm co odpowiada 170 i 156 jednostkom

twardości Brinell'a; wahania twardości wynoszą w tym wypadku w stosunku do średniej twardości:

$$\frac{170 - 156}{\frac{170 + 156}{2}} = 8,6\%$$

Po zahartowaniu przy temperaturze 820 i 825°C (czas przebywania w piecu — 55 min., czas studzenia 21 sek.) skrajne twardości skorup były: 3,0 i 2,6 mm, t. j. 415 i 555 jednostek twardości Brinell'a, zatem wahania największej i najmniejszej twardości w stosunku do średniej wynosiły około 29%.

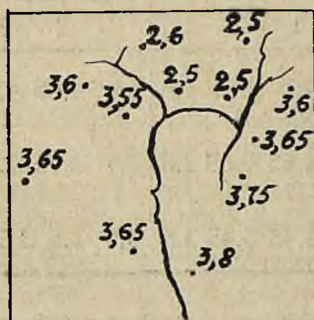
Wreszcie dla skorup odpuszczonych max. i min. twardości były: 3,35 i 3,55 mm, to zn. 332 i 293 jednostek Brinell'a, co daje wahania w granicach około 12%.

Z powyższego widać, że nawet przy prawidłowem hartowaniu należy się liczyć z różnicami twardości w różnych miejscach tej samej skorupy. Różnice te są największe w skorupach hartowanych, a mniejsze — w odpuszczonych.

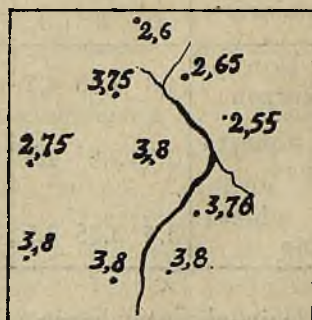
Prawidłowo termicznie obrobione skorupy dają odciski w granicach 3,65 do 3,75 mm, odpowiadające twardości 278 do 262 stopni Brinell,a.

C. Pękanie skorup termicznie obrabianych.

Powstawanie pęknięć w skorupach hartowanych pochodzi najczęściej wskutek nierównomiernego nagrzewania lub chłodzenia. Obserwacje wykazały, iż w pękniętych skorupach twardość ścianek jest bardzo nierównomierna. Tak np. rys. 79 do 82 wskazują rozwinięcia powierzchni skorup zahartowanych, przyczem z rys. 81

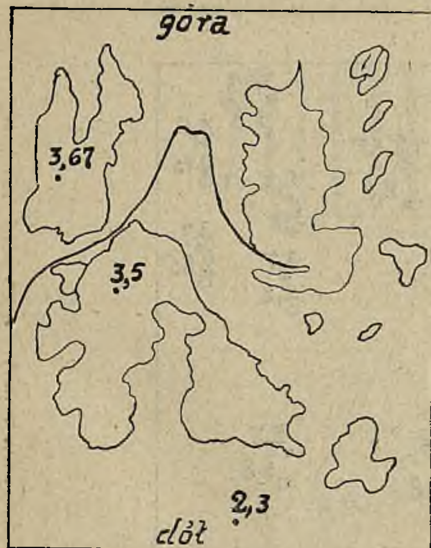


Rys. 79.

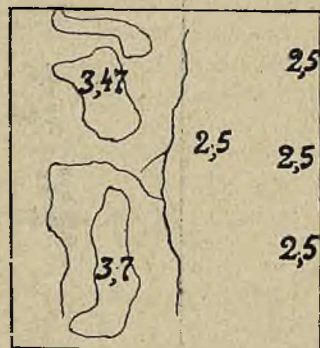


Rys. 80.

widać, że pęknięcie przebiega całkowicie w materjale twardym i odgranicza miejsca miękkie od twardych; w innych wypadkach (rys. 81 do 83) na powierzchni skorupy trafiają się placki twardsze otoczone miększym metalem. Różnica średnic odcisków dochodzi przytem do 0,8 — 1 mm w skorupach zahartowanych. Bardzo często pęknięcia te powstają blisko ostrołuku, odgraniczając miejsce miękkie, niezahartowane, od miejsc częściowo lub całkowicie zahartowanych. Obecność obcych ciał w stali (tlenków, inkluzyj niemetalicznych i t. p.), posiadających mniejsze od stali przewodnictwo cieplne, sprzyja powstawaniu pęknięć, gdyż jest przyczyną nierównomiernego ochładzania. Na skutek tego w czasie obróbki termicznej powstają w materjale naprężenia wewnętrzne, wywołujące widoczne lub często niewidoczne rysy i pęknięcia, przeważnie tak nieznaczne, że podczas dalszego wyrobu i prób skorup pozostają niewykryte; przy zbiegu jednak okoliczności niesprzyjających, jak np. nierównomierne nagrzewanie lub chłodzenie skorup ze stali o niejednostajnym składzie, — pęknięcia się ujawniają, — choć bardzo często dopiero przy próbie hydraulicznej gotowych obrobionych skorup.



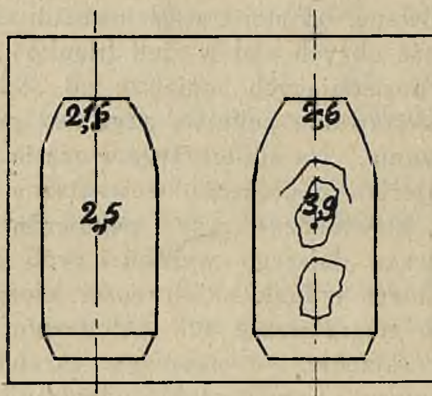
Rys. 81.



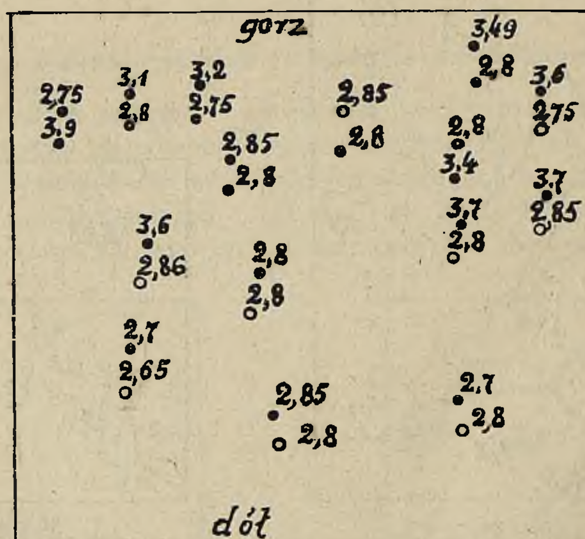
Rys. 82.

Obecność zendry, pokrywającej część powierzchni zewnętrznej skorupy po wyjęciu jej z pieca, powoduje nierównomierne nagrze-

wanie i chłodzenie, a zatem i zahartowanie, a tem samem nierównomierny rozkład twardości (p. rys. 84). Rysunek ten przedstawia rozwiniętą powierzchnię skorupy zahartowanej a nieoczyszczonej z zendry przy zanużaniu do wody. Miejsca, które były pokryte zendrą, oznaczone są czarnemi krążkami, — miejsca wolne od zendry — białemi.



Rys. 83.



Rys. 84

D. Rozkład twardości w ściankach skorup hartowanych w warunkach normalnych i nienormalnych.

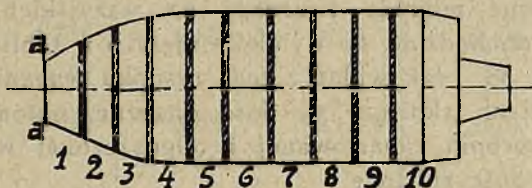
Najbardziej równomierne zahartowanie skorupy uzyskuje się przez chłodzenie wodą jednocześnie od zewnątrz i od wewnątrz, jednak i w tym wypadku dolne części ścianek i dno skorupy, jako grubsze, stygną wolniej, co powoduje tworzenie się stref słabiej utwardzonych. Dla zbadania tego zjawiska zahartowano skorupę w temperaturze 840^0 i odpuszczono przy 610^0, poczem pokrajano ją równoległemi płaszczyznami na pierścienie (rys. 85.)

Pomiary twardości w ściance skorupy uskuteczniono aparatem Rockwell'a, uprzednio wygładzając powierzchnię pomiarową, aby możliwie wyeliminować wpływ nierówności powierzchni na dokładność otrzymanych pomiarów.

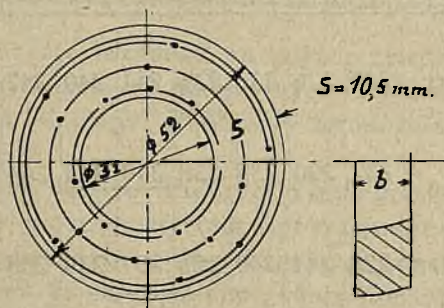
Odciski robiono na trzech okręgach w każdym przekroju:

a) przy ściance wewnętrznej,
b) przy ściance zewnętrznej,
c) pośrodku ścianki, —

po sześć pomiarów na każdym obwodzie, poczem brano średnią wartość uzyskanej twardości (rys. 86).



Rys. 85.



Rys. 86.

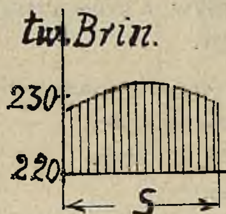
Tablica 10 zawiera wyniki pomiarów uskutecznionych na pierścieniu I (oko).

Tablica 10.

Powierzchnia pomiarowa *a* — *a* (rys. 85 i 87).

Twardość w jednostkach Brinell'a	przy ściance zewnętrznej	200 235 242 228 240 228	twardość śred.: 229
	pośrodku ścianki	228 222 234 234 240 234	232
	przy ściance wewnętrznej	247 242 216 216 228 216	228

Przebieg twardości w ściance pierścienia I przedstawia rys. 87.



Rys. 87.

Analogicznie mierząc twardość na wszystkich pozostałych pierścieniach, dochodzimy do wyników ujętych w tablicy 11 i wskazanych na rys. 88. Jak widać z tego rysunku wahania w poszczególnych częściach skorupy są dość znaczne, natomiast średnie wartości w skorupie zahartowanej i odpuszczonej w normalnych warunkach są dość zbliżone.

Tablica 11.

	Pierścień	1	2	3	4	5	6	7	8	9	średnio
Średnia twardość w jedn. Brinell'a	ścianka zewnętrz.	229	226	23[illegible]	235	241	240	242	242	244	237
	środek ścianki	232	220	238	238	240	244	244	247	243	238
	ścianka wewnętrz.	228	241	240	236	237	239	238	242	242	238
Grubość ścianki		10,5	20	12	10	9	9	9	10,5	14	11,5

Chcąc zbadać rozkład twardości w ściankach skorup zahartowanych w *nienormalnych warunkach*, zamknięto przy hartowaniu dopływ wody do wnętrza skorupy. Cały proces studzenia odbywał się zatem *tylko od zewnątrz*. Czas hartowania był dzięki temu nieco większy i wyniósł zamiast 16 — 18 sek., około 25 sek.

Przed i po zahartowaniu i odpuszczeniu pomierzono twardość skorupy przy pomocy aparatu Brinell'a na ściance zewnętrznej (p. tablica 12).

Tablica 12.

Średnica odcisku kulki Brinell'a (mm.)

przed hartowaniem		po zahartowaniu		po odpuszczeniu	
dno	ostrołuk	dno	ostrołuk	dno	ostrołuk
4,75	4,75	2,50	2,60	3,65	3,75
4,80	4,75	2,60	2,70	3,75	3,70
4,75	4,75	2,55	2,65	3,70	3,70
4,75	4,75	2,65	2,70	3,70	3,70

Wyniki pomiarów twardości na ściance zewnętrznej, jak widać z tablicy 12, nie wskazują na jakiekolwiek znaczniejsze odchylenia od pomiarów dla skorupy obrabianej termicznie w drodze normalnej.

Ze względu na wielkie trudności krajania skorup zahartowanych, — została ona odpuszczona i pokrajana na pierścienie, poczem pomierzono twardość w poszczególnych przekrojach, postępując analogicznie jak ze skorupą poprzednią. Rezultat średnich wartości, uzyskanych w sposób poprzednio opisany dla poszczególnych pierścieni, zawiera tablica 13.

Tablica 13.

Twardości pierścieni skorupy chłodzonej, tylko zewnątrz.

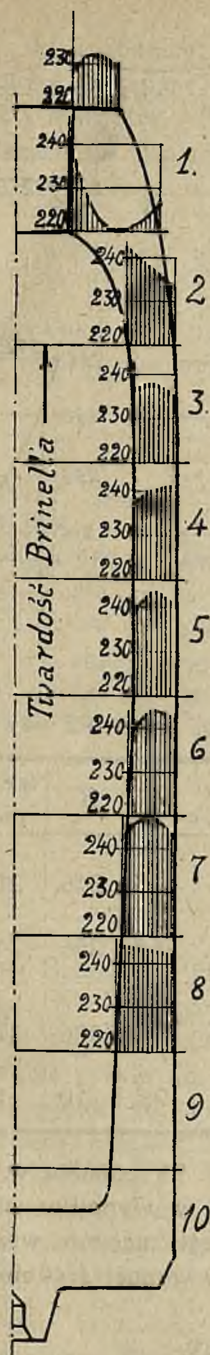
	Pierścień	1	2	3	4	5	6	7	8	9	średnio
Średnia twardość w jednostk. Brinell'a	ścianka zewnętrz.	230	237	231	232	245	260	253	244	249	242
	środek ścianki	231	214	222	233	228	239	231	228	227	227
	ścianka wewnętrz.	229	221	218	217	228	232	226	216	231	224
Odchylenia tward. wyrażone w %		0,87	10,7	6,0	7,4	7,5	12,0	11,0	13,0	9,7	8%
Grubość ścianki pierścienia		9	20	15	10	10	9,5	10,5	11	14	12 mm

Powyższe dane ujęto w wykresy, (rys. 89). Przebieg krzywych wskazuje wyraźnie większą twardość zewnętrznej powierzchni skorupy.

Krzywa rys. 90 wskazuje wahania procentowe odchyleń twardości wzdłuż skorupy między skrajnemi twardościami, uzyskanemi ze średnich pomiarów przy ściance zewnętrznej, pośrodku jej i przy ściance wewnętrznej.

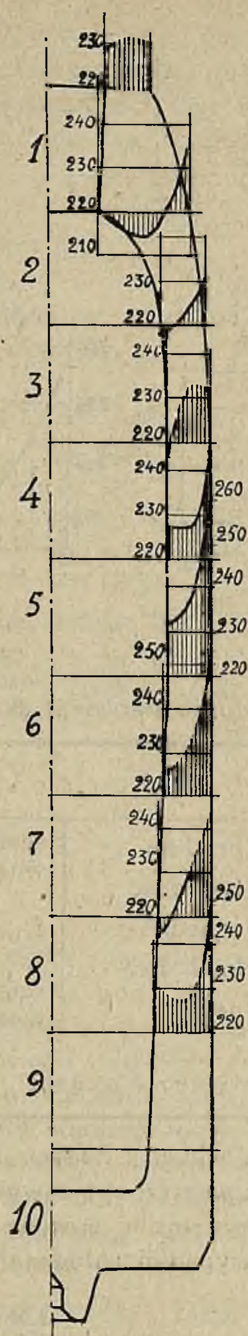
Średnie odchylenie wynosi $\frac{242 - 224}{224} . 100 = 8\%$

Hartując skorupę *tylko od wewnątrz*, t. j. przy zamkniętym dopływie wody nazewnątrz skorupy, otrzymuje się odwrotny przebieg krzywych. Tak np. w ten sposób zahartowano skorupę w temperaturze 810^0, chłodząc tylko od wewnątrz w ciągu 30 sek., po upływie których wyjęto skorupę z aparatu hartowniczego w stanie chłodnym. Pomiary uskuteczniono w trzech przekrojach; wyniki podaje tablica 14 oraz wykresy rys. 91.



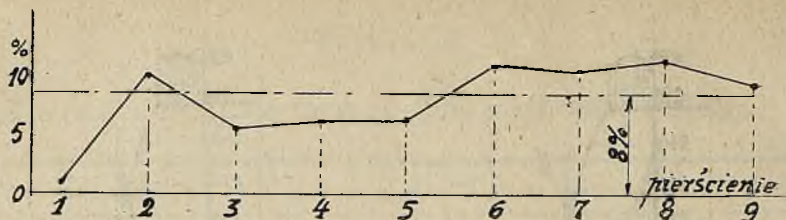
Twardość Brinell'a
230
220
240
230
220
1.
240
230
220
2
240
230
220
3.
240
230
220
4
240
230
220
5
240
230
220
6
240
230
220
7
240
230
220
8
9
10

Rys. 88.

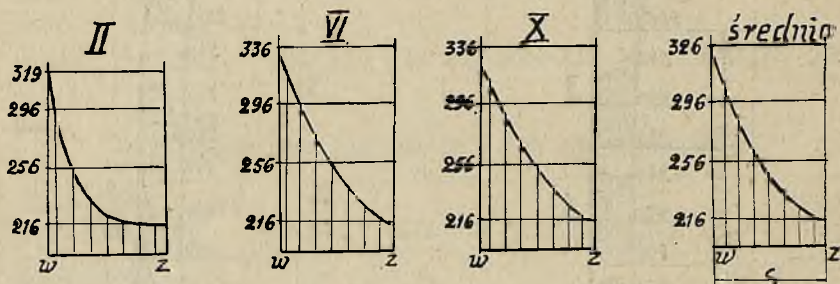


230
220
240
230
220
210
1
230
220
2
240
230
220
3
240
230
220
260
250
4
240
230
250
220
5
240
230
220
6
240
230
220
250
7
240
230
220
8
9
10

Rys. 89.



Rys. 90.



Rys. 91.

Tablica 14.

Twardości pierścieni skorupy chłodzonej tylko od wewnątrz.

Pierścień		II	VI	X	średnio
Średnia twardość w jednostkach Brinell'a	ścianka zewnętrzna	216	216	216	216
	środek ścianki	222	263	256	247
	ścianka wewnętrzna	319	333	326	326
Grubość ścianki		11	9,5	10	10

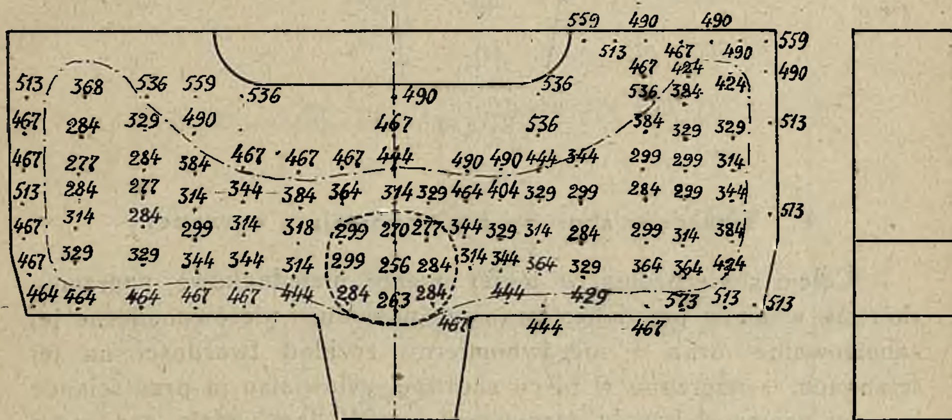
Jak widać z danych tablicy 14 i rys. 91 różnica w twardościach wewnętrznej i zewnętrznej ścianki, w wypadku chłodzenia tylko wewnętrznej powierzchni skorupy, jest znacznie większa, niż była w wypadku chłodzenia od zewnątrz i wynosi średnio:

$$\frac{326 - 216}{216} \cdot 100 = 54\%.$$

Tak dużą różnicę, otrzymaną przy porównaniu obu wypadków, należy przypisać niejednakowej intensywności chłodzenia wewnątrz i zewnątrz. Kształt krzywych twardości jest odwrotny w porównaniu do poprzedniego wypadku (por. rys, 89 i 91).

E. Twardość dna skorupy.

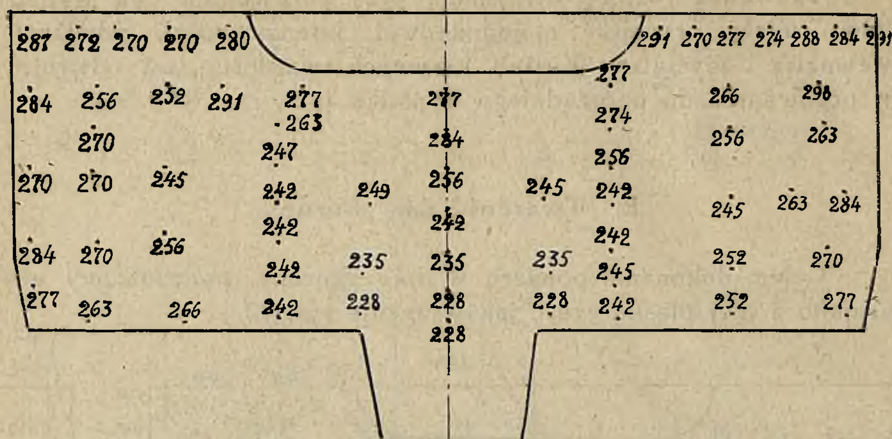
Celem dokonania pomiaru w dnie skorupy *zahartowanej* wykrajano z niej płaską część jak wskazuje rys. 92.



Rys. 92.

Odcisk Brinell'a o średnicy 2,9 mm odpowiada twardości = 444 jednostkom. Na przekroju większą twardość posiadają warstwy zewnętrzne, mniejszą materjał leżący bliżej środka. Wykreślona linja wewnątrz przekroju odgranicza warstwę twardszego materjału od bardziej miękkiego. Poza tem część powierzchni, obwiedziona grubszą kreską, posiada twardość materjału odpuszczonego poniżej 300 jednostek Brinell'a. Z powyższych wyników widocznem jest, iż dno nie zostało w całej swej masie zahartowane, że istnieje pewna objętość materjału niezahartowanego, położonego w dnie, gdyż grubość jego jest znacznie większa od grubości ściąnek.

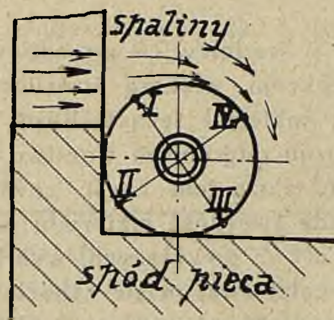
To samo zjawisko występuje w dnie skorupy zahartowanej przy temperaturze 800^0 i *odpuszczonej* przy 600^{0}C. Różnice są jednak w tym wypadku znacznie mniejsze (por. rys. 93).



Rys. 93.

F. Twardość skorupy niejednostajnie ogrzanej.

Celem stwierdzenia, w jakiej mierze niejednakowe nagrzanie skorupy w piecu przed hartowaniem powoduje nierównomierne jej zahartowanie oraz — nierównomierny rozkład twardości na jej ściankach, — nagrzano w piecu skorupę, ustawiając ją przy ściance bocznej nawprost kanału gazowego (rys. 94), tam, gdzie gaz wraz z powietrzem, dostając się do przestrzeni paleniskowej pieca, spala się i wytwarza wysoką temperaturę, niezbędną do nagrzania skorupy.

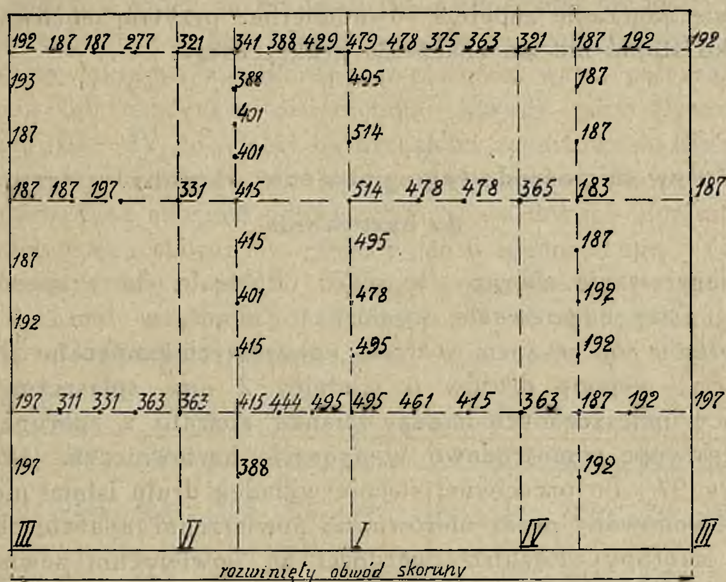


Rys. 94.

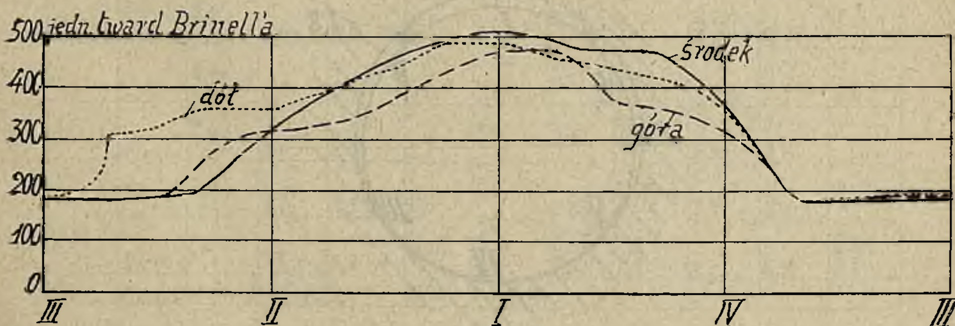
Skorupa w czasie nagrzewania pozostawała w spoczynku i nie była obracana. Po nagrzaniu się górnej ścianki, omywanej przez

gorące spaliny, do temperatury dostatecznej, wyjęto skorupę z pieca i zmierzono temperatury ścianki od strony gorętszej i chłodniejszej, — wynosiły one 700° i 650° C, poczem skorupę zahartowano. Rozkład twardości na rozwiniętej powierzchni skorupy podaje rys. 95.

Twardości otrzymane przedstawione są graficznie dla trzech obwodów — wpobliżu dna, wpobliżu głowicy oraz pośrodku (por. rys. 96).



Rys. 95.



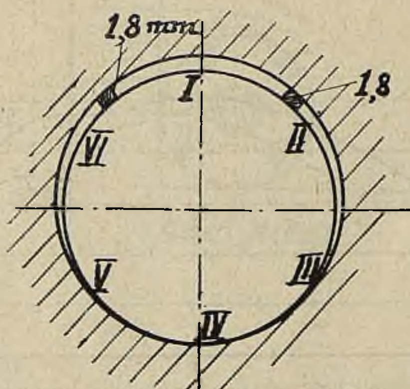
Rys. 96.

Twardość zahartowanej części powierzchni waha się od 450 do 550 jednostek Brinell'a. Z wykresów widać, iż tylko część obwodu ścianki, wystawiona na działanie gorących spalin, została dostatecznie nagrzana i zahartowana, część zaś powierzchni (około tworzącej IV), jako zagrzana do temperatury niższej, niż punkt krytyczny — wcale hartu nie przyjęła.

Normalnie, skorupy przebywające w przedniej części pieca są stale przetaczane, aby umożliwić równomierne nagrzanie ścianki na obwodzie. Przy częstem przetaczaniu skorupy o część obwodu uzyskuje się nagrzanie zupełnie równomierne, przytem możliwa różnica kilku stopni nie ma znaczenia praktycznego.

G. Wpływ mimośrodowego położenia skorupy w przyrządzie do hartowania.

Nagrzewanie skorupy w piecu odbywało się w sposób normalny. Czas nagrzewania wyniósł 45 minut, w tem — 5 minut w położeniu poprzecznem, w strefie najwyższych temperatur. Następnie przy pomocy drutów o średnicy 2 mm, spłaszczonych do 1,8 mm i umieszczonych między ścianką aparatu a skorupą, ustawiono skorupę mimośrodowo w aparacie hartowniczym jak wskazuje rys. 97. Po przeciwnej stronie wkładek drutu istniał niewielki luz, spowodowany przez nierówności powierzchni aparatu chłodzącego i skorupy. Rozkład twardości na powierzchni zewnętrznej skorupy zahartowanej w tych warunkach wskazuje rys. 98.



Rys. 97.

Jak widać, pomimo umieszczenia mimośrodowego, skorupa była dosyć równomiernie zahartowana [przy dnie. Wykazuje ona średnicę odcisku 2,6 mm po stronie dobrze zahartowanej, oraz 2,9 po stronie przeciwnej. Zachodzi to — na długości 50 mm walcowej części skorupy, poczem twardość na tworzących III—IV, IV, IV—V, V nagle opada do — 3,2 i 3,4. Dalszy spadek twardości wzdłuż tych tworzących jest powolniejszy. Maksymalna wielkość odcisku wynosi 4,0 mm, podczas gdy materjał wyżarzony posiada odciski 4,5 mm. Przejście z odcisku 2,8 mm na 3,8 mm na tworzącej IV, odbywa się, jak widać ze schematu, na nieznacznej długości, zatem odbywa się bardzo szybko. Miały tu wpływ prawdopodobnie czynniki uboczne (skrzywienie skorupy, nierówności walca przyrządu do chłodzenia lub zendra). Powierzchnia skorupy przy głowicy na przestrzeni III — IV do V jest bardzo słabo zahartowana, widocznie przyleganie jej do tulei w tem miejscu było lepsze, niż przy dnie. Następnie badaną skorupę odpuszczono w warunkach normalnych. Czas przebywania skorupy w piecu wynosił około 60 min. Temperatura odpuszczania — 610° C. Wreszcie pomierzono twardość na tych samych, co poprzednio, tworzących i w zbliżonych do poprzednich odległościach (por. rys. 99).

I		II		III		IV góra		V		VI	I
2,6	2,5	2,7	27	28	3,9	3,9	38	3,5	26	2,7	2,5
265	25	265	26	2.75	36	4.0	4.0	34	2.65	2.7	2.6
	25	2.6	26	27	3,2	39	38	36	27	28	
2,6	2.55		27	2.6	2,8	4.0	3,9	3,9	2,7	2.9	2,6
265		275	27	285	2,8	39	39	3,8	2,65	29	2,8
2.75	2,6	2,7	265	2,8	31	39	3,9		2,75 / 2.9	2.75	2,6
	2,55	2,65	27	2.7	32	38	3,6	3,6	295	27	265
2,75		2,6	27	275	27	3,6	3,4	2,8	295	2.8	
	2,6	2,7	2,7	29	28	2,9	2.75	2,75	29	27	2,65
2,75	2,6	2,6	2,7	2,8	2.85	2,9 / 2,8	2,8 / 28	2,8 / 2,8	2,9	2,9	2,55 / 2,7
2.7	5 odcisków Brinell'a.				2.75	dół					

Rys. 98.

I		II		III		IV		V		VI	I
	37		37	37		42	góra.	40		38	37
3,7	375	3,75	375	37	4,0	41	4,1	40	3,75	375	375
3,8	38	3,9	37	37	3,9	415	4,1	40	3,8	38	375
3,75	375	3,7	375	37	3,85	42	3,9	405	3,8	385	375
3,85	375	3,7	3,75	37	39	42	4,2	395	3,8	38	375
3,75	375	3,7	37	3,7	39	3,95	4,1	375	3,8	38	37
3,75	38	38	3,7	3,75	385	4,0			3,75	37	375
3,75	38	38	3,7	3,75	385	3,7	3,8	3,75 38	38	375	375
3,8	38	37	38	38	375	375 385	3,75	3,85	385	375	375
3,8	38	37	38	39	375	375	385	385	39	39	38
						dół	skorupy				

Rys. 99.

Średnie wahania odcisków są po odpuszczeniu mniejsze, gdyż zawierają się w granicach od 3,7 do 4,2 mm, podczas gdy w wypadku poprzednim wahały się od 2,5 do 4,0 mm. Jak widać, normalnie zahartowane miejsca mają też normalną wielkość odcisku po odpuszczeniu, podczas gdy miejsca słabo zahartowane mają średnice odcisków większe — średnio o 0,2 mm w stosunku do średnic przed odpuszczeniem (np. $\varnothing = 4{,}0$ wzrasta do $\varnothing = 4{,}2$). Jest to objaw interesujący, gdyż w tych miejscach skorupa jeszcze przed odpuszczeniem miała mniejszą twardość, niż w innych już po odpuszczeniu; można było zatem spodziewać się, że twardość tych miejsc pozostanie bez zmiany.

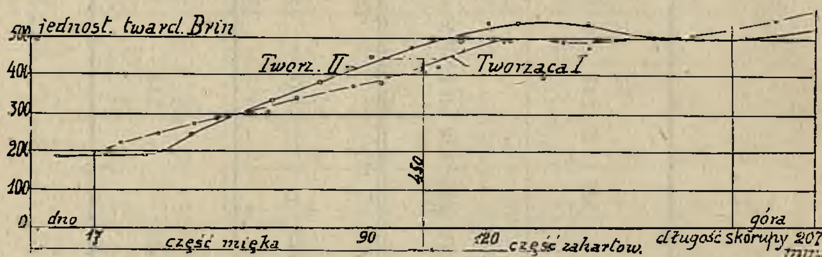
H. Wpływ nierównego nagrzania wzdłuż osi skorupy.

W celu zbadania rozkładu twardości w tym wypadku, nagrzano skorupę w ten sposób, że pirometr wskazywał przy dnie temperaturę 710^{0} C, a przy głowicy — 800^{0} C. Temperatura samego dna była około 700^{0} C. Tabl. 15 podaje pomiary twardości wzdłuż dwóch przeciwległych tworzących na powierzchni zewnętrznej skorupy.

Tablica 15.

Tworząca I	Odległ. od dna	17	24	34	43	52	63	70	85	92	100	107	114	120	126	133	140	147	156	166	173	185	196	207
	Tward. jedn. Br.	192	217	248	269	293	302	341	363	375	401	415	461	495	478	495	478	461	495	495	495	514	534	555
Tworząca II	Odległ. od dną	20	—	31	43	50	64	77	—	90	101	—	114	121	129	—	—	147	—	165	181	189	—	207
	Tward. jedn. Br.	183	—	187	241	285	331	375	—	444	461	—	478	534	534	—	—	534	—	495	495	495	—	514

Wykresy rys. 100 wskazują na stopniowy wzrost twardości na ściance zewnętrznej skorupy, a mianowicie w odległości 100 mm od dna posiada ona twardość mniejszą od 460 jedn. Br., odpowiadającą średnicy odcisku 2,85 mm, lecz stale wzrastającą począwszy od dna. Wzrost twardości ustaje na odległości 120 mm od dna, poczem w dalszym ciągu zlekka wzrasta lub też utrzymuje się mniej więcej na tym samym poziomie.

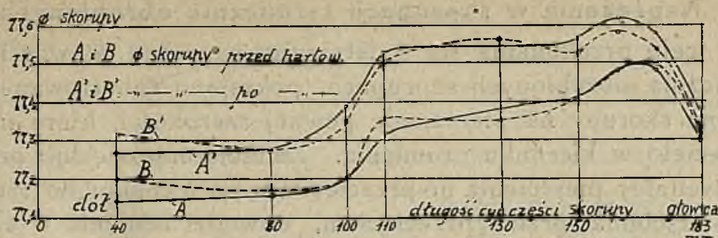


Rys. 100.

Powyższe wykresy wskazują na doniosłość równomiernego nagrzewania skorupy przed jej hartowaniem, szczególnie gdy temperatura hartowania znajduje się wpobliżu 700° C. W wypadku tym już kilkanaście stopni różnicy temperatur ścianki w dwóch różnych miejscach powoduje nierównomierne zahartowanie, a co zatem idzie i rozkład twardości, oraz wpływa jednocześnie na powiększenie w bardzo znacznym stopniu naprężeń wewnętrznych, mogących spowodować pękanie skorup.

Pomiary średnic powyższej skorupy w określonych odległościach od dna przed i po zahartowaniu dały wyniki następujące: (p. tabl. 16).

Jak widać z powyższej tablicy część zahartowana skorupy odpowiada wzrastającym częściom krzywych na rys. 101, przyczem odchylenia wymiarów średnic wahają się od 0,77% do 2,58% dla jednej tworzącej (*A*) oraz od 0,129% do 2,72% dla drugiej (*B*). Dla części niezupełnie zahartowanej, wahania średnic wynoszą od 1,55% — 1,68%; dla zahartowanej od 2,06% — 2,32% bez uwzględnienia części skorupy zniekształconej przez zwężanie. Wykres wskazuje również na to, że odchylenia średnic przed i po hartowaniu na części ostrołukowej są dużo mniejsze, niż na części walcowej skorupy.



Rys. 101.

Tablica 16.

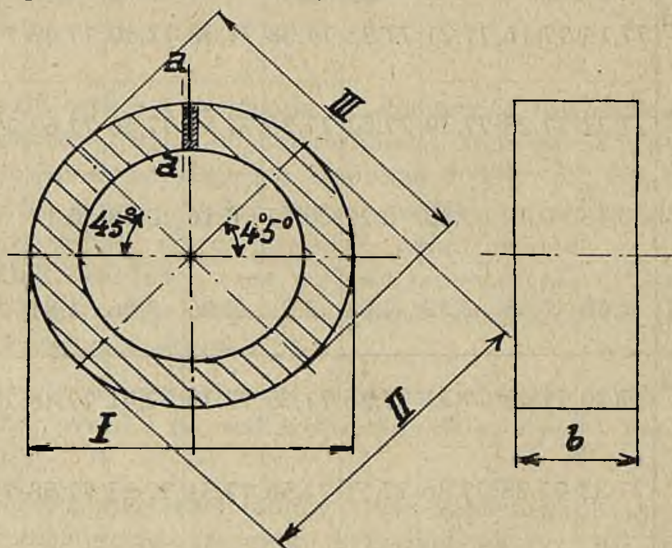
Odległ. od dna	40	52	100	110	127	135	150	160	170	183
∅ A przed hartow.	77,14	77,16	77,21	77,33	77,38	77,38	77,40	77,48	77,47	77,30
∅ A' po hartow.	77,27	77,28	77,39	77,53	77,55	77,54	77,56	77,62	77,58	77,36
Różnica $A' - A$	0,13	0,12	0,18	0,20	0,17	0,16	0,16	0,14	0,11	0,06
Różn. w %	1,68	1,55	2,32	2,58	2.2	2,06	2,06	1,81	1,42	0,77
∅ B przed hartow.	77,20	77,15	77,21	77,26	77,35	77,35	77,41	77,48	77,50	77,31
∅ B' po hartow.	77,32	77,28	77,36	77,51	77,56	77,51	77,53	77,58	77,53	72,32
Różnica $B' - B$	0,12	0,13	0,15	0,15	0,21	0,16	0,12	0,10	0,13	0,01
Rożn. w %	1,55	1,68	1,94	1,94	2,72	2,06	1,55	1,29	1;68	0,129

Uwaga. Średnice A i B mierzone są w prostopadłych do siebie płaszczyznach.

I. Naprężenia w skorupach termicznie obrobionych.

W celu przekonania się o istnieniu naprężeń wewnętrznych w termicznie obrobionych skorupach, pokrajano zahartowane i odpuszczone skorupy na pierścienie pewnej szerokości, które następnie przecięto w kierunku promienia. Zmniejszenie się lub powiększenie średnicy pierścienia po przecięciu, w porównaniu do średnicy tegoż pierścienia przed przecięciem, dowodzi istnienia w ściance skorupy naprężeń ściskających lub rozciągających.

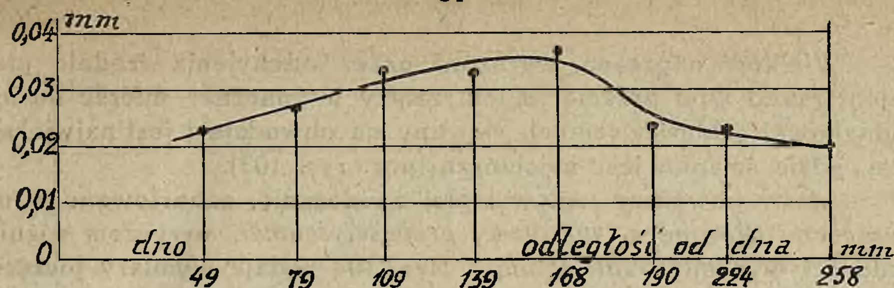
W związku z powyższem wykonano następujące doświadczenie: nagrzano skorupę w ciągu 55 minut i zahartowano w temperaturze 835°, studząc w aparacie hartowniczym w ciągu 18 sek. Po ostudzeniu odpuszczono ją w temperaturze 610° C przyczem czas przebywania skorupy w najgorętszej sferze pieca wyniósł 20 minut. Po termicznej obróbce skorupę pocięto na części jak wyżej (p. rys. 85), średnice otrzymanych dziewięciu pierścieni pomierzono, poczem pierścienie przecięto jak wskazuje rys. 102, w miejscu *a*.



Rys. 102.

W każdym pierścieniu zostały zmierzone trzy średnice (w/g rys. 102) w kolejności zaznaczonej przez rzymskie cyfry. Wyniki pomiarów wszystkich pierścieni, przed i po przecięciu, podaje tablica 17, przyczem dno nie było brane pod uwagę. Jak wynika z pomiarów, każdy pierścień posiada w przekroju *a — a* po termicznej obróbce naprężenia ściskające.

Średnie różnice średnic poszczególnych pierścieni, odłożone jako rzędne, dają krzywą przedstawioną na rys. 103.



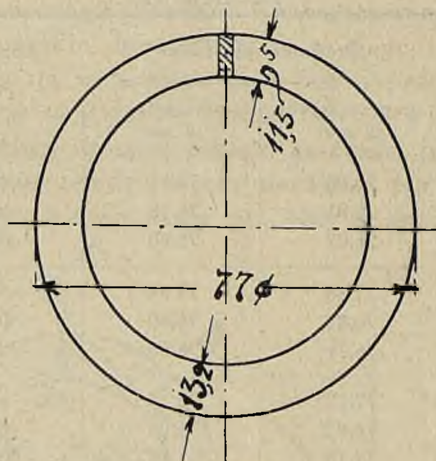
Rys. 103.

Tablica 17.

Pierścień	Wymiar	Średnice pierścieni nieprzeciętych w mm	Średnice pierścieni przeciętych w mm	Różnice w mm	Średnie różnice w mm
9	I II III	76,83 76,81 76,82	76,81 76,78 76,80	—0,02 —0,03 —0,02	—0,023
8	I II III	77,66 76,83 76,71	77,64 76,80 76,68	—0,02 —0,03 —0,03	—0,026
7	I II III	77,17 76,93 77,15	77,14 76,90 77,11	—0,03 —0,03 —0,04	—0,033
6	I II III	76,55 77,03 77,11	76,50 77,00 77,09	—0,05 —0,03 —0,02	—0,033
5	I II III	77,30 76,83 77,32	76,99 76,80 77,28	—0,04 —0,03 —0,04	—0,036
4	I II III	75,94 75,70 76,42	75,92 75,67 76,40	—0,02 —0,03 —0,02	—0,023
3	I II III	75,81 75,92 75,86	75,79 75,90 75,82	—0,02 —0,02 —0,04	—0,026
2	I II III	71,45 71,50 71,44	71,43 71,48 71,41	—0,02 —0,02 —0,03	—0,023
1	I	62,06	62,04	—0,02	—0,020

Wielkość naprężeń, wyrażona przez odchylenia średnic pierścieni przed i po przecięciu ich, zależy w znacznej mierze od niejednakowej grubości ścianek skorupy na obwodzie i jest największa tam, gdzie ścianka jest najcieńszą (por. rys. 103).

Ażeby powyższy wpływ lepiej uwidocznić, zahartowano i odpuszczono skorupę o *nierównej grubości ścianki*, przyczem różnica grubości wynosiła około 2 mm. Rys. 104 podaje wymiary pierścienia wyciętego z takiej skorupy, a tablica 18 zawiera wyniki pomiarów.



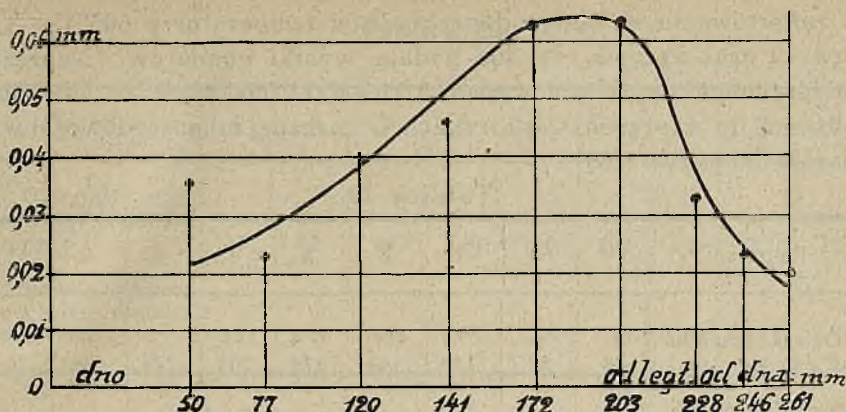
Rys. 104.

Tablica 18.

Pierścienie	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Odległ. zmierzonych średn. do dna	50	77	110	141	172	203	228	246	261
Średnia różnica odchyleń średnic pierścieni. . . .	0,036	0,023	0,040	0,046	0,063	0,063	0,033	0,023	0,020

Średnice mierzono, jak w wypadku poprzednim, w trzech miejscach obwodu, poczem wzięto średnią wartość z trzech pomiarów. Wartości zawarte w tablicy 18 przedstawione są na rys. 105.

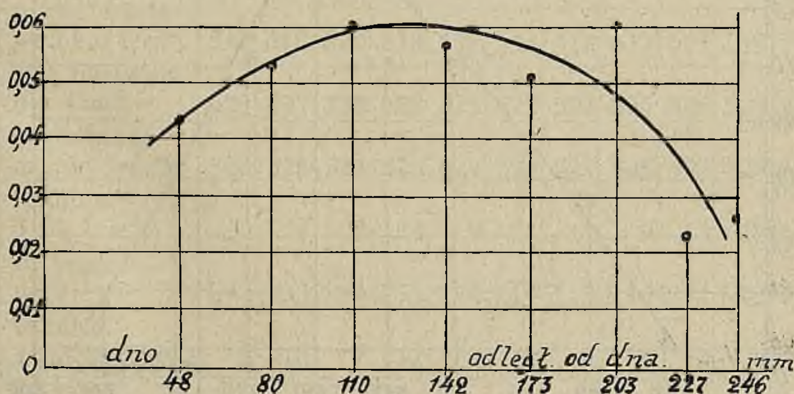
Różnice średnic posiadają również jak i poprzednio znak ujemny, co oznacza, iż w przekroju istnieją naprężenia ściskające.



Rys. 105.

Pierścienie przecinano w miejscu ich najmniejszej grubości. Wartości uzyskanych odchyleń są dla skorup o nierównej grubości ścianek, — jak należało oczekiwać, — większe. Maksymalne odchylenia występują w tej samej odległości od dna, w okolicy najmniejszych grubości ścianek (por. rys. 105), lecz maksymalne odchylenie dla skorupy o nierównej grubości ścianek jest prawie dwukrotnie większe, niż przy skorupie ze ścianką jednakowej grubości, co pozwala wnioskować, że i naprężenia w tym wypadku są dwukrotnie większe.

Rys. 106 przedstawia krzywą odchyleń średnich wartości średnic dla pierścieni, otrzymanych przez pokrajanie skorupy nagrzanej *niejednakowo na obwodzie* i zahartowanej. Różnica temperatur ścianek skorupy z dwóch przeciwnych stron wynosiła $815^0—730^0 = 85^0$ C.



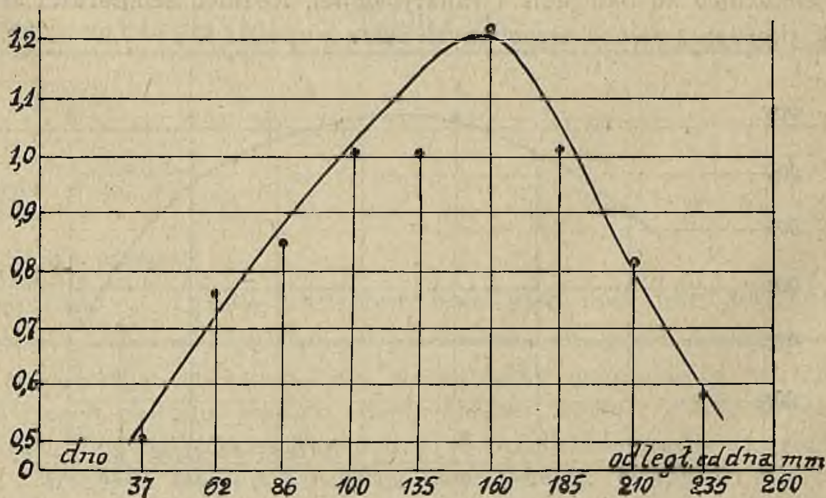
Rys. 106.

Po zahartowaniu skorupę odpuszczono w temperaturze 605° C. Tablica 19 oraz krzywa rys. 106 podają wyniki pomiarów. Naprężenia otrzymuje się w tym wypadku również ściskające o wielkości zbliżonej do naprężeń w skorupach o znacznej mimośrodowości wymiarów (por. rys. 105).

Tablica 19.

Pierścień	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Odległ. pomiaru od dna skorupy .	48	80	110	142	173	203	227	246	264
Średnia różnica odchyleń średnic pierścienia . . .	0,043	0,053	0,060	0,056	0,046	0,060	0,023	0,026	—

Naprężenia wewnętrzne materjału w ściance są znacznie większe dla skorupy zahartowanej w temperaturze 860° jednostronnie, t. zn. *przy dopływie wody chłodzącej* np. *wyłącznie do wewnątrz.* Warstwa materjału zahartowanego na skutek zwiększania swej objętości przy hartowaniu rozpiera resztę materjału, leżącego wpobliżu ścianki wewnętrznej. Odchylenia średnie posiadają w danym razie znak dodatni, t. zn. średnice pierścieni powiększają się skutkiem istnienia naprężeń rozciągających (por. tablicę 20 oraz rys. 107).



Rys. 107.

Tablica 20.

Pierścień	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Odległość pomiaru od dna skorupy	37	62	86	110	135	160	185	210	235
Średnia różnica odchyleń średnic pierścieni . . .	0,51	0,76	0,85	1,06	1,03	1,23	1,04	0,81	0.59

K. Wpływ obróbki termicznej na wymiary skorup.

a) *Zmiana pojemności.* W celu zbadania wpływu znanego zjawiska zwiększania objętości stali na skutek hartowania, zbadano zmianę pojemności 10 skorup poddanych obróbce termicznej.

Pomiary te przeprowadzono ważąc skorupy puste i następnie napełnione wodą do określonego poziomu.

Wyniki pomiarów zawiera tablica 21.

Tablica 21.

Pojemność skorup termicznie obrabianych (cm^3).

1	Skorupa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	średnio
2	przed hartowaniem (cm^3)	518	515	520	513	518	514	512	517	513	519	515,9
3	po hartowaniu (cm^3)	528	527	228	527	527	525	523	526	526	529	526,6
4	po odpuszczeniu (cm^3)	523	525	527	525	527	524	521	525	523	528	524,8
5	różnica: 3—2 (cm^3)	10	12	8	14	9	11	11	9	13	10	10,7
6	to samo w %	1,93	2,33	1,54	2,73	1,74	2,14	2,15	1,74	2,54	1,93	2,08
7	różnica: 4—2 (cm^3)	5	10	7	12	9	10	9	8	10	9	8,9
8	to samo w %	0,97	1,94	1,34	2,34	1,74	1,95	1,76	1,54	1,95	1,73	1,73

Z danych tablicy wynika, że hartowanie zwiększa pojemność skorupy przeciętnie o około 2%, następujące potem odpuszczanie zmniejsza ten przyrost objętości o około 0,35% tak że po ukończeniu obróbki termicznej pozostaje zwiększenie pojemności, wynoszące średnio około 1,73% pierwotnej pojemności skorupy.

b) *Pomiary długości*, dokonane na tych samych skorupach dały średni przyrost długości po hartowaniu = 1,08 mm, t. j. 0,395% średniej długości skorupy $l = 267,11$ mm; po odpuszczeniu wzrost długości wynosił średnio tylko 0,78 mm, t. j. 0,29%.

c) *Zwiększenie średnicy* skorupy przy hartowaniu wyniosło dla trzech z pośród wspomnianych 10 skorup — 0,22%, po hartowaniu i odpuszczaniu zaś — tylko około 0,16%.

Jak widać z powyższego, wszystkie trzy wielkości: objętość, długość i średnica skorupy zmieniają się skutkiem obróbki termicznej w bardzo małych granicach.